
1345

№ 13

1918

Проф. Г. Ми.
(Грейфсвальдъ.)

Молекулы, атомы, міровой эфиръ.

Перевелъ съ нѣмецкаго
Э. В. Шпольскій

Подъ редакціей
преподав. Императ. Московск. Инженерн. училища
Т. П. Кравеца.



Издательство «ПРИРОДА»
МОСКВА—1913.

Типо-литогр. Т-ва И. Н. КУШНЕРЕВЪ и Kº. Пименовская ул., с. д.
МОСКВА—1913.

Отъ редакціи.

Авторъ книги, предлагаемой вниманію читателей,—известный ученый, самъ не мало способствовавшій выясненію многихъ вопросовъ, затрагиваемыхъ имъ въ отдѣльныхъ главахъ книги. Это обстоятельство въ значительной степени объясняетъ тѣ свѣжіе и оригинальные пріемы изложенія, которые могутъ доставить удовольствіе при чтеніи и спеціалисту. Хотя книга составилась изъ курса популярныхъ лекцій, авторъ иногда оцѣниваетъ знанія своихъ слушателей-читателей довольно высоко. Мы позволили себѣ въ видахъ облегченія чтенія въ нѣсколькихъ (немногихъ) мѣстахъ упростить выводы и опредѣленія.



1. Зернистое строеніе матеріи.

Часто считаютъ основателями атомистической теоріи въ физикѣ античныхъ философовъ, именно: Демокрита Абдерскаго и эпикурейцевъ, которые всецѣло приняли отъ него ученіе объ атомахъ. Однако подобный взглядъ вѣренъ лишь постольку, поскольку рѣчь идетъ объ исторической преемственности, но онъ совершенно ошибоченъ, когда подразумѣвается логическая связь. Конечно, создатели атомистической теоріи въ физикѣ могли вдохновляться идеями Демокрита, но, вообще, физика разсматриваетъ міръ съ совершенно иной точки зрѣнія, чѣмъ философія. Часто говорятъ, что атомистическая теорія пытается изслѣдовать самую сущность вещей, что атомы суть послѣдніе элементы сущаго, и, что если бы удалось объяснить всѣ явленія ихъ формой, силами и движеніями, то тѣмъ самымъ всѣ проблемы, вообще, были бы разрѣшены. Но это большое заблужденіе! Философское мышленіе можетъ, конечно, задаваться вопросами объ истинной сущности вещей, но естествознаніе съ его своеобразными, разработанными для его опредѣленной цѣли методами не можетъ и приступать къ рѣшенію подобныхъ вопросовъ. Стремимся ли мы сами къ тому

dass wir erkennen, was die Welt
in ihrem Innersten zusammenhält [1])

или же мы въ качествѣ «афилософовъ» (какъ однажды, при случаѣ, назвалъ себя Больтцманъ, одинъ изъ круп-

---

[1]) „чтобы узнать, что лежитъ въ самой сущности вселенной".

нѣйшихъ физиковъ послѣдняго времени) отрицаемъ самый смыслъ и значенiе подобнаго стремленiя, по крайней мѣрѣ для себя лично,—это для чистаго естествознанiя совершенно безразлично. Его цѣль заключается въ томъ, чтобы изобразить мiръ, не отвлекаясь вопросами объ его истинной сущности, въ видѣ возможно простой системы ясныхъ понятiй, такъ, какъ онъ представляется нашимъ органамъ внѣшнихъ чувствъ. И атомистическая теорiя есть только краткое, логически-необходимое объединенiе результатовъ чувственнаго опыта при помощи одного понятiя.

Изъ самаго понятiя о матерiи никоимъ образомъ не слѣдуетъ, что она должна быть построена изъ атомовъ, т.-е. мельчайшихъ частицъ, находящихся другъ отъ друга на опредѣленныхъ разстоянiяхъ. Ибо что такое матерiя? Прежде всего,—это есть только понятiе, при помощи котораго наше сознанiе вноситъ извѣстный порядокъ въ подавляющее количество впечатлѣнiй. Если я, напр., сдѣлаю движенiе рукой въ направленiи этого стола, то я почувствую нѣкоторое сопротивленiе этому движенiю. Въ то же время осязательные нервы дадутъ мнѣ опредѣленное впечатлѣнiе, которое мы обозначаемъ словомъ «гладкiй» (или «шероховатый»); моя рука, далѣе, получитъ впечатлѣнiе холода или тепла. Если я сдѣлаю движенiе быстрѣй, то въ тотъ моментъ, когда станетъ ощутительнымъ сопротивленiе, я услышу короткiй, глухой звукъ. На ряду со всѣми этими впечатлѣнiями передъ моими глазами возникаетъ опредѣленный образъ, неразрывно связанный со всѣми остальными впечатлѣнiями, по крайней мѣрѣ, до тѣхъ поръ, пока онъ еще ясенъ. Нашъ разумъ перерабатываетъ этотъ хаосъ разнообразнѣйшихъ ощущенiй въ стройную картину слѣдующимъ образомъ: онъ относитъ всѣ эти ощущенiя, въ качествѣ «предиката», къ одному «субъекту», который онъ для нихъ «субституируетъ». Этотъ субъектъ есть «матерiальный предметъ». Въ то же время разумъ проектируетъ этотъ предметъ изъ себя во «внѣшнiй

міръ». Онъ говоритъ: здѣсь находится крышка стола, тѣло особаго рода, отличающееся отъ всего окружающаго, гладкое, холодное, твердое, издающее при ударѣ звукъ, коричневаго цвѣта, четырехугольной формы; вещь не зависимая отъ меня, существующая внѣ меня. Однако разумъ присоединяетъ къ чистымъ чувственнымъ воспріятіямъ рядъ сужденій, безъ которыхъ его упорядочивающая дѣятельность была бы, конечно, невозможна, но которыя тѣмъ не менѣе уже не вытекаютъ изъ самыхъ ощущеній. Таковы, напр., слѣдующія сужденія: что между выше перечисленными ощущеніями существуетъ тѣсная связь, что, поэтому, одно изъ нихъ не можетъ встрѣтиться безъ другого, и что они должны постоянно повторяться, пока столъ не будетъ разрушенъ какими-нибудь особыми дѣятелями (напр., огнемъ), которые, конечно, тоже должны совершенно опредѣленнымъ образомъ открываться нашимъ органамъ чувствъ. Другія подобныя сужденія: что всѣ нормальные люди могутъ получить тѣ же впечатлѣнія, какъ и я, что эти впечатлѣнія не могутъ другъ другу противорѣчить, т.-е. что столъ, напр., не можетъ одновременно представляться четырехугольнымъ и круглымъ. Подобныя сужденія, которыя необходимы для упорядочивающей дѣятельности разума, мы называемъ сужденіями «a priori». Ихъ важность сразу бросается въ глаза, если сравнить воспріятія, переработанныя въ опредѣленную систему, съ переживаніями во снѣ; въ теченіе сна въ наше сознаніе, конечно, также поступаетъ большое количество ощущеній, не подчиненныхъ, однако, упорядочивающей силѣ ума. Въ мірѣ сновъ совершенно измѣнены и перепутаны не только свойства предметовъ, но даже сами эти предметы и различныя лица. Въ этомъ мірѣ логическіе законы тождественности и причинности не имѣютъ мѣста, а потому никакое изслѣдованіе и познаніе здѣсь невозможно.

Можемъ ли мы высказать теперь относительно матеріальнаго тѣла какія-нибудь сужденія a priori, кромѣ

того, что оно, какъ продуктъ разума, должно быть подчинено его законамъ? Мы, во всякомъ случаѣ, можемъ высказать два слѣдующихъ сужденія: во-первыхъ, что наши воспріятія необходимо должны быть нѣкоторымъ образомъ расположены въ пространствѣ, т.-е., что матеріальное тѣло должно быть трехмѣрнымъ пространственнымъ образованіемъ; во-вторыхъ, что всѣ измѣненія должны происходить во временной послѣдовательности, что, такимъ образомъ, всѣ явленія совершаются во времени. Этимъ, однако, все и исчерпывается. Разумъ, дѣятельность котораго состоитъ въ томъ, чтобы вносить порядокъ и систему въ чувственныя воспріятія, ничего не можетъ намъ сказать о свойствахъ самихъ предметовъ. Эти свойства суть не что иное, какъ тѣ впечатлѣнія, которыя существуютъ независимо отъ нашей воли и разума. Они представляютъ собой тотъ сырой матеріалъ, изъ котораго разумъ чеканитъ стройный образъ матеріальнаго тѣла.

Точно такъ же мы ничего не можемъ a priori сказать относительно внутренняго строенія тѣла. Другими словами: a priori не извѣстно, останется ли, напр., стеклянный кружокъ при болѣе глубокомъ изслѣдованіи такимъ же однороднымъ, какимъ онъ представляется на первый взглядъ, или же онъ разрѣшится въ скопленіе мелкихъ частицъ, скрѣпленныхъ въ тѣло, которое, значитъ, только кажется однороднымъ. Бумага, на которой я пишу, представляется издали тоже однороднымъ бѣлымъ тѣломъ. Но если я стану разсматривать ее въ лупу, то она разложится на огромное количество маленькихъ склеенныхъ другъ съ другомъ волоконъ. Оба эти, повидимому, совершенно противоположныя сужденія не противорѣчатъ, однако, другъ другу, потому что на большомъ разстояніи я получаю только «общую картину» поверхности, на самомъ дѣлѣ построенной изъ мелкихъ частицъ. Точно такъ же могло бы оказаться, что впечатлѣніе однородности, получаемое мною отъ куска стекла, тоже справедливо лишь какъ впечатлѣніе «об-

щей картины», и что на самомъ дѣлѣ мы имѣемъ передъ собой предметъ, неоднородный по своему строенію.

Мы оставляли пока безъ вниманія при всѣхъ нашихъ разсужденіяхъ еще одинъ въ высшей степени важный пунктъ. Если мы говоримъ, что свойства тѣлъ суть не что иное, какъ наши собственныя ощущенія, то такое опредѣленіе вполнѣ соотвѣтствуетъ тѣмъ примитивнымъ пріемамъ, при помощи которыхъ мы оріентируемся, на первыхъ порахъ, въ предметахъ внѣшняго міра. Но оно, конечно, теряетъ правильность по отношенію къ пріемамъ научнымъ. Если мы въ физикѣ хотимъ, напр., составить себѣ представленіе о степени нагрѣтости тѣла, то мы не удовольствуемся для этого нашимъ чувствомъ тепла—мы возьмемъ термометръ. Мы знаемъ, что если термометръ, приведенный въ соприкосновеніе съ тѣломъ, всякій разъ показываетъ одну и ту же температуру, то и наша рука также будетъ испытывать каждый разъ одно и то же тепловое ощущеніе. Далѣе, мы знаемъ, что при прочихъ равныхъ условіяхъ всякому иному тепловому ощущенію соотвѣтствуетъ другое положеніе столбика жидкости въ термометрѣ. Мы имѣемъ право, поэтому, замѣнить наше непосредственное ощущеніе тепла картиной, которую даетъ термометръ, соединенный съ даннымъ тѣломъ. Такая замѣна простого ощущенія болѣе сложнымъ наблюденіемъ при помощи термометра имѣетъ два очень цѣнныхъ преимущества. Во-первыхъ, простое тепловое ощущеніе существенно зависитъ отъ того состоянія, въ которомъ находится наше собственное тѣло. Я назову одинъ и тотъ же предметъ теплымъ, если я только что пришелъ съ холода,—холоднымъ, если я находился въ теплой комнатѣ. Между тѣмъ термометръ въ обоихъ случаяхъ показываетъ одну и ту же температуру. Мы получаемъ, поэтому, представленіе о простой связи между ощущеніями только тогда, когда принимаемъ за характеристику степени нагрѣтости тѣла показаніе термометра. Только въ этомъ случаѣ намъ не нужно будетъ разсказы-

вать о всѣхъ обстоятельствахъ, предшествовавшихъ наблюденію, и о состояніи, въ которомъ находилось при этомъ наше собственное тѣло, т.-е. о вещахъ, въ сущности, очень скучныхъ и неинтересныхъ. Во-вторыхъ, и это особенно важно, термометръ позволяетъ намъ судить о степени нагрѣтости и въ такихъ случаяхъ, которые были бы недоступны для непосредственнаго ощущенія. Онъ позволяетъ намъ мѣрить температуру въ самыхъ широкихъ предѣлахъ: отъ температуры кипящей воды до высшихъ степеней нагрѣванія, при которыхъ наши пальцы просто сгорѣли бы, а, съ другой стороны, и до тѣхъ глубочайшихъ степеней холода, которыя мы имѣемъ, напр., въ жидкомъ воздухѣ, и которыя были бы не менѣе губительны для пальцевъ. При помощи термометра мы распространяемъ, такимъ образомъ, понятіе температуры въ обѣ стороны за предѣлы области, доступной непосредственному ощущенію.

Сущность экспериментальнаго метода въ естествознаніи, открытаго Галилеемъ, собственно въ томъ и состоитъ, чтобы замѣнять выше описаннымъ образомъ простыя ощущенія болѣе сложными наблюденіями. Эти наблюденія должны быть обставлены такимъ образомъ, чтобы, во-первыхъ, наши воспріятія не зависѣли отъ случайныхъ вліяній,—напр., отъ нашего личнаго состоянія,—и, во-вторыхъ, чтобы можно было наблюдать и такія свойства, для которыхъ у насъ не имѣется спеціальныхъ органовъ чувствъ.

Тѣмъ не менѣе, матеріалъ, который подлежитъ обработкѣ естествознанія, въ сущности, сводится къ нашимъ ощущеніямъ, полученнымъ либо непосредственно, либо при помощи особыхъ приборовъ. Позвольте мнѣ сдѣлать одно простое сравненіе. Ремесленникъ работаетъ, въ концѣ-концовъ, всегда руками, хотя бы и при помощи инструментовъ. Эти послѣдніе можно въ извѣстномъ смыслѣ назвать его искусственными членами, которыми человѣкъ дополняетъ свои руки, чтобы сдѣлать ихъ способными сверлить или рѣзать твердыя вещества и во-

обще совершать операціи, недоступныя его природнымъ пальцамъ. Точно такъ же и физическіе инструменты въ соединеніи съ глазомъ натуралиста представляютъ собой искусственные органы чувствъ, которые приспособлены такимъ образомъ, чтобы ими можно было наблюдать опредѣленныя свойства матеріи и проникать въ области, недоступныя природнымъ органамъ чувствъ. При этомъ для наблюденія одного и того же опредѣленнаго свойства существуетъ нерѣдко по нѣскольку такихъ «органовъ чувствъ», разнаго устройства. Такъ, мы уже назвали два вида ихъ, предназначенныхъ для наблюденія температуры: нашу кожу, чувствительную къ теплу и холоду, и обыкновенный термометръ. Но и термометру можно, въ свою очередь, придавать весьма различныя формы, смотря по той специальной цѣли, для которой онъ предназначается: можно дѣлать его шарикъ большей или меньшей величины, въ качествѣ содержимаго брать ртуть, спиртъ или еще какую-нибудь жидкость; въ газовомъ термометрѣ сосудъ наполняется газомъ, при чемъ измѣряются измѣненія упругости этого газа при постоянномъ объемѣ. На совершенно иныхъ принципахъ основано устройство столь часто употребляющихся въ физикѣ электрическихъ термометровъ: термоэлемента и болометра. Въ этихъ случаяхъ отсчитываются отклоненія стрѣлки гальванометра. Недавно сконструированный оптическій термометръ для высокихъ температуръ принадлежитъ уже къ совсѣмъ иному типу термометровъ. При помощи этого прибора яркость накаленнаго тѣла сравнивается съ яркостью обыкновенной электрической лампочки, питаемой токомъ опредѣленной силы. Число этихъ примѣровъ можно было бы еще увеличить.

Всѣ эти соображенія приводятъ насъ теперь къ весьма важнымъ выводамъ. Благодаря достигнутому разнообразію «органовъ чувствъ», предназначенныхъ для воспріятія одного и того же свойства, понятіе объ этомъ свойствѣ отрывается отъ того спеціальнаго «органа

чувствъ», при помощи котораго оно наблюдается. Свойство превращается въ понятіе, посредствомъ котораго мы приводимъ въ связь другъ съ другомъ большое число наблюденныхъ нами явленій (и даже явленій, которыя намъ, можетъ быть, только еще предстоитъ наблюдать въ будущемъ). Такъ, напримѣръ, сужденіе, что тѣло имѣетъ температуру 43° С, обозначаетъ: 1) что при соприкосновеніи съ нимъ пальцы получаютъ опредѣленное тепловое ощущеніе; 2) что жидкость термометра увеличиваетъ на опредѣленную величину свой объемъ; 3) что газъ, заключающійся въ резервуарѣ газоваго термометра, пріобрѣтаетъ опредѣленную упругость; 4) что въ термоэлементѣ развивается извѣстное электрическое напряженіе; 5) что электрическое сопротивленіе проволоки получаетъ вполнѣ опредѣленное числовое значеніе, и т. д. Такимъ образомъ, понятіе состоянія или свойства матеріи пріобрѣтаетъ большую общность, но зато оно теряетъ свою первоначальную наглядность, если только оно ее имѣло. Правда, очень многія свойства матеріи мы наблюдали съ самаго начала только при помощи инструментовъ, и потому эти свойства не имѣли никогда простого нагляднаго смысла; они всегда были лишь связующими понятіями, нарочно образованными для объединеній различныхъ наблюденій. Я назову, напр., напряженіе электростатическаго поля, темное излученіе и многія другія сложныя понятія, которыя часто называютъ физическими константами матеріи; таковы: удѣльная теплота, электрическое сопротивленіе, показатель преломленія и т. д., и т. д.

Соотвѣтственно отвлеченному характеру физическихъ свойствъ вещества, мы обозначаемъ ихъ числами (напр., 43° С), которыя выбраны такимъ образомъ, чтобы по нимъ можно было возможно просто возстановить всѣ факты, наблюдавшіеся при помощи инструментовъ. Такимъ образомъ, матеріальное тѣло для физика есть, въ концѣ-концовъ, нѣкоторый пространственный образъ, каждой точкѣ котораго соотвѣтствуетъ нѣкоторое ко-

личество чиселъ, изображающихъ свойства и состоянiе тѣла въ этой точкѣ. Весь этотъ образъ и всѣ характеризующiя его числа при этомъ мѣняются во времени, но по этимъ блѣднымъ образамъ, созданнымъ отвлеченной мыслью, ученый во всякое время можетъ возстановить тѣ ощущенiя, которыя они замѣняютъ. И все искусство научнаго мышленiя заключается въ томъ, чтобы производить подобное обратное построенiе по возможности легко и быстро.

Обыкновенно мы даже не сознаемъ, насколько абстрактны тѣ понятiя, съ которыми мы постоянно оперируемъ, и замѣчаемъ это только тогда, когда это выяснитъ намъ какая-нибудь ясно опредѣленная, разработанная до полной отчетливости, теорiя. Таковы, напр., теорiи, о которыхъ рѣчь идетъ дальше,—объ атомахъ, о молекулахъ, о мiровомъ эфирѣ. Теорiи эти вовсе не требуютъ слишкомъ большого запаса абстрактныхъ понятiй,—не больше, чѣмъ мы склонны вообще создавать ихъ, когда принимаемся за экспериментальное изслѣдованiе природы. Онѣ, эти теорiи, суть только слѣдствiя, къ которымъ мы совершенно необходимо должны притти, если мы вступаемъ на путь естествоиспытателя. И все же, только дойдя до нихъ, мы вдругъ ясно видимъ, что весь прекрасный мiръ, который блещетъ и переливается яркими красками, который согрѣваетъ или освѣжаетъ насъ, который услаждаетъ нашъ слухъ гармонiей звуковъ, который то ласкаетъ насъ, то становится грозенъ и жестокъ,—этотъ мiръ остался далеко позади, и мы вращаемся въ сферѣ чистыхъ абстракцiй. Въ поискахъ выхода изъ этого непрiятнаго положенiя объявляютъ атомы, свѣтовыя волны, мiровой эфиръ, предметами чисто гипотетическими, рабочими гипотезами, которыя со временемъ—надо надѣяться—будутъ изгнаны изъ науки.

Я хочу убѣдить васъ въ теченiе своихъ лекцiй, что, если только мы будемъ достаточно умѣло лавировать между абстракцiями и конкретными фактами, въ этихъ теорiяхъ заключается множество общеинтересныхъ ве-

щей, и что ихъ не только не слѣдуетъ забрасывать, но, наоборотъ, стоитъ съ ними ознакомиться ближе и сжиться.

Дѣлимость матеріи.

Я допускаю, что намъ удалось весьма внимательно изслѣдовать всѣ свойства какого-нибудь тѣла, напр., мѣдной проволоки. Другими словами, я предполагаю, что намъ удалось произвести возможно совершенно всѣ тѣ наблюденія, которыя мы объединяемъ въ понятіи этой проволоки. Оказывается, что всѣ однажды установленныя свойства, при вторичномъ изслѣдованіи, которое мы можемъ произвести по истеченіи большого промежутка времени, представляются совершенно не измѣнившимися. Раздѣлимъ нашу проволоку щипцами-острогубцами на двѣ части. Если мы теперь подробно изслѣдуемъ эти два куска, то они, независимо отъ длины, окажутся по своимъ свойствамъ совершенно тождественными между собой и тождественными съ первоначальной проволокой. Они будутъ имѣть одинъ и тотъ же цвѣтъ, одну и ту же упругость, гибкость, одинъ и тотъ же удѣльный вѣсъ, одну и ту же теплопроводность, электропроводность и т. д. Это обстоятельство мы выражаемъ въ слѣдующемъ положеніи: матерію проволоки можно дѣлить на части, она дѣлима. Мы можемъ, далѣе, раздѣляя каждую часть, получать все меньшіе и меньшіе кусочки мѣди, но свойства ихъ все время будутъ оставаться неизмѣнными. Одинъ кубическій миллиметръ можно превратить расплющиваніемъ въ цѣльную металлическую пленку, поверхность которой равна 10000 квадратныхъ миллиметровъ, что приблизительно соотвѣтствуетъ поверхности руки (безъ пальцевъ). Подобные тонкіе металлическіе листочки золотобиты приготовляютъ изъ золота и другихъ металловъ. Такъ какъ при такомъ механическомъ дѣленіи матеріи объемъ ея, какъ это установлено эмпирически, въ цѣломъ остается неизмѣннымъ, то наши металличе-

скія пленки должны имѣть толщину $^1/_{10000}$ миллиметра. Тѣмъ не менѣе физическія свойства при этомъ не испытываютъ существенныхъ измѣненій, и мы можемъ отсюда заключить, что металлическій кубикъ, ребро котораго равно $^1/_{10000}$ миллиметра, обладаетъ тѣми же свойствами, какъ и большой кусокъ металла. Замѣчу здѣсь кстати, что частицы подобныхъ размѣровъ уже лежатъ на границѣ видимости въ лучшіе микроскопы, т.-е. ихъ форму уже нельзя точно установить. На основаніи этого факта раньше и полагали, что тѣла, вообще, дѣлимы до безконечности, т.-е. настолько далеко, насколько позволяютъ техническія средства даннаго времени. При этомъ принималось, что будущимъ поколѣніямъ удастся лучшими средствами продолжать дѣленіе матеріи все далѣе и далѣе.

Я покажу вамъ теперь, что этотъ взглядъ на самомъ дѣлѣ не соотвѣтствуетъ истинѣ. Мы располагаемъ въ настоящее время достаточными техническими средствами, но оказывается, что мы приближаемся къ границѣ дѣлимости матеріи. Оказывается, что если продолжить дѣленіе достаточно далеко, то въ концѣ-концовъ получаются частицы, обладающія уже новыми свойствами, отличными отъ свойствъ матеріи, изъ которой онѣ произошли. Мы можемъ сравнить матерію съ песчаникомъ, проявляющимъ въ цѣломъ совсѣмъ не тѣ физическія свойства, которыя присущи каждой изъ безчисленнаго множества составляющихъ его песчинокъ.

Масляныя пленки.

Легче всего удается получить очень тонкія *жидкія* пленки. Если мы, напр., пустимъ на поверхность воды маленькую каплю оливковаго масла, то мы замѣтимъ, что она чрезвычайно быстро расплывается, образуя тонкую круглую пленку, которую легко отличить по особому блеску. Поверхность будетъ непрерывно увеличиваться, но какъ только поверхность эта достигнетъ опре-

дѣленной величины, пленка внезапно покроется круглыми дырами съ зазубренными краями. Дыры эти будутъ непрерывно увеличиваться, пока, наконецъ, пленка не распадется на отдѣльные клочья. Послѣдніе будутъ продолжать расплываться по поверхности воды постепенно уменьшаясь и, наконецъ, совсѣмъ исчезнутъ. Этотъ опытъ удается со всѣми маслами и, кромѣ того, напр., съ нефтью; поэтому всякій легко можетъ самъ его произвести. Слѣдуетъ только заботиться, чтобы въ началѣ опыта поверхность воды была абсолютно свободна отъ жира. Я покажу вамъ этотъ опытъ, заставляя лучъ свѣта отражаться отъ поверхности воды, и проектируя, при помощи линзы, эту поверхность на бѣлый экранъ.

Въ тотъ моментъ, когда я прикасаюсь къ поверхности воды иголкой, которая была предварительно опущена въ оливковое масло, вы замѣчаете особый переливающійся блескъ, присущій тонкимъ слоямъ масла. Затѣмъ масляная пленка распадается на много отдѣльныхъ частей, промежутки между которыми кажутся абсолютно лишенными масла. Толщину подобной пленки въ моментъ разрыва измѣрилъ Зонке. Путемъ взвѣшиванія онъ опредѣлялъ взятый объемъ масла, а измѣряя, съ другой стороны, радіусъ круглой масляной пленки въ тотъ моментъ, когда на ней появляются первыя дыры, онъ могъ вычислить величину ея поверхности. Такъ какъ эти дыры появляются повсюду одновременно, то можно принять, что пленка вездѣ имѣетъ одну и ту же толщину. Раздѣливши объемъ ея на величину поверхности, мы и получимъ искомую толщину. Для послѣдующихъ числовыхъ данныхъ мы нуждаемся въ очень маленькихъ единицахъ, и я долженъ поэтому, прежде всего, сообщить вамъ ихъ употребительныя названія. Символомъ 1 μ (1 микронъ) обозначаютъ тысячную долю миллиметра. Представимъ себѣ, что метровый масштабъ, раздѣленный на миллиметры, уменьшается до величины одного миллиметра, тогда онъ будетъ раздѣленъ на микроны. Тысячную часть микрона, т.-е. мил-

лionную часть миллиметра (10^{-6} mm.), мы называемъ милли-микрономъ, 1 $\mu\mu$. Такимъ образомъ:

$$1 \text{ mm.} = 1000 \, \mu = 1{,}000{,}000 \, \mu\mu.$$
$$1 \, \mu = 1000 \, \mu\mu.$$

Маленькія тѣльца, величину и форму которыхъ еще можно различить при помощи наилучшихъ микроскоповъ, имѣютъ размѣры не менѣе 200 $\mu\mu = 0{,}2 \, \mu$. Если же размѣры тѣлецъ будутъ еще меньше, то либо ихъ очертанія размыты, либо частицъ совсѣмъ не видно.

Зонке сдѣлалъ большое число измѣреній съ оливковымъ и сурѣпнымъ масломъ. И то, и другое дали лишь немного отличающіяся между собой значенія для той толщины, при которой пленки начинаютъ разрываться, а именно, въ круглыхъ числахъ: 100 $\mu\mu = 0{,}1 \, \mu$. Это есть, приблизительно, та самая толщина, которую имѣютъ тончайшіе металлическіе листочки, полученные путемъ выковыванія изъ золота и другихъ металловъ.

Изъ этихъ чиселъ вытекаетъ, что дѣйствительно могутъ существовать такія частицы суб-микроскопическихъ размѣровъ, которыя по всему, что мы о нихъ знаемъ, еще обладаютъ тѣми же свойствами, какъ и матерія въ большихъ количествахъ; но при 0,1 μ эти частицы достигаютъ той величины, при которой онѣ начинаютъ вести себя уже иначе, при чемъ прежде всего измѣняется характеръ силъ, сдерживающихъ жидкую пленку.

Разсмотримъ теперь ближе жидкій слой, толщина котораго сдѣлалась уже меньше 0,1 μ. Мы имѣемъ отдѣльные клочья, раздѣленные мѣстами, повидимому, лишенными масла. Я говорю, «повидимому», потому что легко убѣдиться, что между болѣе толстыми клочьями еще существуетъ связь, въ видѣ соединяющей ихъ тончайшей масляной пленки. Если взять достаточно большую поверхность воды, то отдѣльные толстые клочья будутъ мало-по-малу уменьшаться, и, наконецъ, исчезнутъ окончательно, такъ что масла совсѣмъ не будетъ замѣтно. Я покажу вамъ это теперь въ прежнемъ сосудѣ, кото-

рый мы тѣмъ временемъ наполнили чистой водой; вотъ я пускаю на поверхность воды маленькую каплю масла. На мгновеніе показывается переливающаяся всевозможными цвѣтами масляная пленка, но затѣмъ она какъ будто совершенно исчезаетъ. Тѣмъ не менѣе, поверхность воды и теперь покрыта цѣльной масляной пленкой, что можно обнаружить по всѣмъ свойствамъ поверхностнаго слоя. Я покажу вамъ, въ качествѣ примѣра, только одинъ опытъ, принадлежащій лорду Рэлею. Извѣстно, что если бросить на совершенно чистую поверхность воды маленькіе кусочки камфоры, то они начинаютъ быстро вращаться, и вообще двигаться самымъ безпорядочнымъ образомъ. Я покажу вамъ это своеобразное явленіе въ нашемъ сосудѣ, который мы вновь наполнили чистой водой. Чѣмъ обусловлены эти странныя движенія—для послѣдующаго безразлично. Для насъ важно теперь только то, что кусочки камфоры на поверхности какой-либо другой жидкости, напр., масла, не совершаютъ такихъ движеній. Я пускаю теперь на поверхность воды ничтожно-малое количество масла. Несмотря на то, что вы не можете обнаружить въ отраженномъ свѣтѣ какихъ-нибудь измѣненій, поверхность воды несомнѣнно покрывается посторонней оболочкой. Вы видите, какъ кусочки камфоры быстро отскакиваютъ въ сторону въ тотъ моментъ, когда она ихъ достигаетъ. Я бросаю теперь новые кусочки камфоры на поверхность воды: какъ видите, они остаются въ покоѣ и только самые большіе совершаютъ очень слабыя, вялыя движенія. Такимъ образомъ, и въ томъ случаѣ, когда масло покрываетъ поверхность воды слоемъ, толщина котораго меньше 0,1 μ, этотъ слой представляетъ собой, правда, невидимую, но тѣмъ не менѣе цѣльную пленку, на которой теперь покоятся кусочки камфоры. Другіе опыты дѣлалъ Рентгенъ, которому удалось показать, что масляныя пленки даже при такой чрезвычайно малой толщинѣ покрываютъ воду совершенно равномѣрнымъ слоемъ. Еще другіе опыты, подтвердив-

шіе результаты Рэлея и Рентгена, производилъ въ этомъ институтѣ [1]) въ 1893 году Обербекъ. Всѣ три изслѣдователя приблизительно вычисляли толщину масляной пленки, съ которой они производили опыты. Обербекъ нашелъ, что, какъ только пленка достигаетъ толщины 20 $\mu\mu$, начинаютъ появляться видимые клочья, толщина которыхъ, по изслѣдованіямъ Зонке, должна во всякомъ случаѣ превосходить 100 $\mu\mu$. Такимъ образомъ, 20 $\mu\mu$ есть наибольшая толщина невидимой масляной пленки, соединяющей видимые клочья. Если дѣлать масляный слой все тоньше и тоньше, то сперва онъ измѣняется лишь немного; только когда онъ достигаетъ толщины 2 $\mu\mu$, его прочность, повидимому, сильно уменьшается. Кусочки камфоры снова приходятъ въ движеніе; тонкая струя газа, растворяющагося въ водѣ, какъ показалъ Рентгенъ, можетъ теперь пробить пленку, въ то время, какъ раньше она отъ нея отражалась. Коротко говоря, пленка ведетъ себя не какъ прочно связанное цѣлое, она становится хрупкой. Но тѣмъ не менѣе опыты Рентгена и Обербека свидѣтельствуютъ, что пленка еще существуетъ. Если дѣлать ее все тоньше, то она становится все менѣе и менѣе замѣтной. При толщинѣ 0,5 $\mu\mu$ Рентгенъ не могъ обнаружить никакихъ слѣдовъ ея существованія. Обербекъ могъ прослѣдить ее до толщины 0,3 $\mu\mu$. Только что описанныя явленія въ масляныхъ пленкахъ показываютъ, что вещество при дѣленіи на мельчайшія части мѣняетъ, въ концѣ-концовъ, свои свойства. Масляная пленка уже при толщинѣ 100 $\mu\mu$ обладаетъ совсѣмъ другими свойствами, чѣмъ при болѣе значительной толщинѣ. Въ самомъ дѣлѣ, мы не можемъ уже теперь, какъ раньше, измѣнять ея толщину постепенно, и при дальнѣйшемъ растягиваніи сразу образуется гораздо болѣе тонкій слой, приблизительно въ 20 $\mu\mu$. Эту тончайшую

---

[1]) Проф. Ми читалъ эти лекціи въ физическомъ институтѣ Грейфсвальдскаго университета. *Перев.*

невидимую пленку можно теперь снова растягивать постепенно, но при этомъ ея внутреннія силы сцѣпленія мало-по-малу ослабѣваютъ. Наконецъ, когда толщина достигаетъ 0,3—0,5 $\mu\mu$, цѣльной пленки вообще нельзя уже обнаружить. Но масло, тѣмъ не менѣе, еще не исчезло окончательно. Ибо если теперь прибавить еще разъ или два такія же ничтожныя количества его, то, какъ показалъ Обербекъ, пленка снова становится ясно замѣтной. Изъ этого можно вынести такое представленіе, что масло, въ концѣ-концовъ, раздѣляется на отдѣльныя, не связанныя между собой, частички, которыя свободно плаваютъ по поверхности воды.

Волновая теорія свѣта.

Я боюсь, что одного этого опыта съ масляной пленкой будетъ вамъ недостаточно для доказательства такого важнаго положенія, что матерія не сплошь выполняетъ пространство. И дѣйствительно, если бы этотъ опытъ былъ единственнымъ фактомъ, говорящимъ въ пользу такого заключенія, то его врядъ ли можно было бы вывести. Что насъ побуждаетъ считать эту теорію справедливой, такъ это то, что всѣ попытки дѣленія матеріи иными способами всегда приводятъ къ тому же самому результату.

Прежде всего, мы можемъ получить очень тонкія жидкія пленки еще инымъ способомъ. Всякому, кто въ дѣтствѣ забавлялся мыльными пузырями, извѣстенъ этотъ способъ. Мыльный пузырь обладаетъ въ высшей степени тонкой оболочкой, и измѣреніе ея толщины вамъ покажется на первый взглядъ дѣломъ труднымъ. Но наука знаетъ для этого одно простое, но въ то же время вѣрное средство: ея цвѣта. Мы должны вкратцѣ сообщить нѣкоторыя свѣдѣнія объ этихъ цвѣтахъ, которые всякій можетъ наблюдать не только у мыльныхъ пузырей, но вообще въ тонкихъ слояхъ любого вещества. Такъ, напр., ярко окрашенными бываютъ тонкіе слои

масла на поверхности воды, а также тонкіе слои окиси, которой покрываются такіе металлы, какъ мѣдь, желѣзо, латунь, если ихъ подержать короткое время въ пламени. Чаще всего эти цвѣта можно наблюдать у прослоекъ воздуха, наполняющаго чрезвычайно тонкіе промежутки въ прозрачномъ тѣлѣ, напр., въ стеклѣ. Я покажу вамъ это на опытѣ, который впервые былъ произведенъ Ньютономъ. На плоскую стеклянную пластинку положена слабо-выпуклая линза. Между ними имѣется, такимъ образомъ, тонкій воздушный слой, толщина котораго уменьшается по мѣрѣ приближенія къ точкѣ соприкосновенія линзы и пластинки, гдѣ ихъ взаимное разстояніе, понятно, равно нулю. Я заставляю теперь свѣтъ отражаться отъ обѣихъ стеклянныхъ поверхностей, ограничивающихъ эту воздушную прослойку. Вы видите отраженіе здѣсь на экранѣ (рис. 1). Вы замѣчаете систему разноцвѣтныхъ концентрическихъ круговъ вокругъ точки соприкосновенія. Уже здѣсь вы усмотрите слѣдующее правило: опредѣленной толщинѣ воздушнаго слоя соотвѣтствуетъ вполнѣ опредѣленная окраска, всякой другой толщинѣ отвѣчаетъ и иная окраска. Установлено, каково должно быть то условіе, при соблюденіи котораго появляются эти цвѣта. Оно заключается, внѣ всякаго сомнѣнія, въ томъ, что явленіе можетъ наблюдаться тогда,—и только тогда,—когда свѣтъ отражается отъ обѣихъ поверхностей, ограничивающихъ тонкій слой воздуха. Оба луча не суммируются, какъ это должно было бы быть по обыденному представленію, въ одинъ бѣлый лучъ двойной яркости, а даютъ систему лучей различныхъ цвѣтовъ, въ зависимости отъ разстоянія отъ обѣихъ поверхностей.

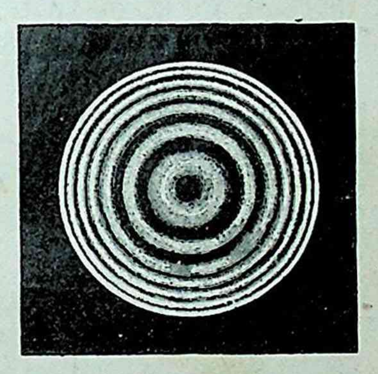


Рис. 1. Ньютоновы кольца.

Въ опытахъ по оптикѣ явленія пріобрѣтаютъ болѣе простой характеръ, если вмѣсто бѣлаго свѣта примѣнить, такъ наз., вполнѣ однородный. Это—такой свѣтъ, въ лучахъ котораго всѣ предметы кажутся одного цвѣта—цвѣта падающихъ лучей. При такомъ освѣщеніи исчезаетъ все разнообразіе окраски тѣлъ, и остается возможнымъ только одно различіе, одна градація—въ силѣ освѣщенія.

Я направляю свѣтъ электрической лампы на ярко раскрашенный картонъ. Около каждаго участка его, окрашеннаго въ какой-либо цвѣтъ, написано, въ какой именно цвѣтъ онъ окрашенъ—это понадобится впослѣдствіи. Я прошу васъ теперь убѣдиться, что надписи сдѣланы совершенно правильно. Вы видите: красный, желтый, зеленый, синій. Теперь я ставлю передъ лампой красное стекло: при такомъ освѣщеніи окраска исчезаетъ. На мѣстѣ краснаго и желтаго цвѣтовъ вы видите ярко освѣщенныя мѣста, на мѣстѣ зеленаго и синяго, напротивъ,—темныя. Мы имѣли дѣло съ однороднымъ краснымъ цвѣтомъ. Другое стекло измѣняетъ свѣтъ, выдѣляя, какъ вы видите, однородный зеленый цвѣтъ, третье—однородный синій. Я направляю теперь однородный красный свѣтъ на нашу воздушную прослойку между линзой и стеклянной пластинкой. Вы видите теперь вокругъ точки соприкосновенія большое число постепенно переходящихъ другъ въ друга свѣтлыхъ и темныхъ колецъ. Та же самая картина представляется намъ и во всякомъ другомъ однородномъ свѣтѣ, напр., въ зеленомъ и синемъ. Но, быть можетъ, вы обратили вниманіе на то, что при употребленіи лучей различной окраски поперечники колецъ получаются не одинаковой величины. Если я буду освѣщать линзу наполовину зеленымъ, наполовину краснымъ свѣтомъ, то вы ясно замѣтите, что зеленыя кольца расположены тѣснѣе, чѣмъ красныя. Теперь извѣстно, что обычный бѣлый свѣтъ является смѣсью всевозможно окрашенныхъ видовъ однороднаго свѣта. Если мы будемъ производить опытъ

съ бѣлымъ свѣтомъ, то получимъ безконечное количество концентрическихъ между собою системъ колецъ, при чемъ всякой однородной окраскѣ будетъ отвѣтствовать своя опредѣленная ширина колецъ. Если бы разстоянія между кольцами различныхъ системъ были одинаковы, то они дали бы вмѣстѣ систему бѣлыхъ, сѣрыхъ и черныхъ колецъ. Но вслѣдствіе того, что кольца различныхъ цвѣтовъ сдвинуты другъ относительно друга, возникаютъ другія, уже составныя окраски. Получатся, напр., такія мѣста, гдѣ для однороднаго краснаго свѣта должно лежать темное кольцо, но для желтаго, зеленаго—болѣе или менѣе свѣтлое. Нашъ глазъ увидитъ въ этомъ мѣстѣ составную зеленую окраску. Подобнымъ же образомъ объясняется происхожденіе всѣхъ цвѣтовъ, которые возникаютъ при освѣщеніи бѣлымъ свѣтомъ, при чемъ все это можно прослѣдить съ математической точностью. Въ нѣсколько большемъ отдаленіи отъ центра мы получаемъ постоянно бѣлую окраску, хотя при употребленіи одноцвѣтнаго освѣщенія тамъ еще видны кольца. Это происходитъ потому, что тамъ налагаются другъ на друга самыя разнообразные цвѣта. Такъ, напр., для одного сорта голубыхъ лучей тамъ получается свѣтлое кольцо, для другого, хотя и близкаго—темное, точно такъ же опредѣленному оттѣнку зеленаго цвѣта тамъ соотвѣтствуетъ свѣтлое кольцо, другому, близкому къ первому—темное, и т. д. Подобная составная окраска представляется нашему глазу бѣлой. Глазъ не можетъ усмотрѣть существующаго тамъ въ отдѣльныхъ мѣстахъ различія въ составѣ свѣта, и его бѣлая окраска представляется глазу совершенно однородной.

Мы объяснили цвѣта тонкихъ пластинокъ, исходя изъ явленій, наблюдающихся при употребленіи одноцвѣтнаго свѣта. Результатъ таковъ: два луча одноцвѣтнаго свѣта, полученные изъ одного и того же источника частичнымъ отраженіемъ отъ двухъ разныхъ поверхностей, не суммируются просто въ одинъ лучъ, интен-

сивность котораго равна суммѣ обѣихъ первоначальныхъ интенсивностей; но, въ зависимости отъ разницы пройденныхъ путей, они даютъ то лучъ болѣе яркій, чѣмъ каждый изъ нихъ въ отдѣльности, то—менѣе яркій. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ интенсивность послѣ сложенія лучей бываетъ даже равна нулю. При только что описанномъ расположеніи опыта можно легко вычислить разстояніе между обѣими отражающими поверхностями въ любомъ мѣстѣ. Для этого нужно только смѣрить разстояніе даннаго мѣста отъ точки соприкосновенія линзы со стеклянной пластинкой. Если извѣстенъ, кромѣ того, радіусъ сферической поверхности линзы, для опредѣленія котораго существуетъ множество простыхъ методовъ, то небольшое геометрическое разсужденіе дастъ искомую величину. При подобныхъ измѣреніяхъ обнаружилась чрезвычайно простая закономѣрность, именно, что свѣтлыя и темныя мѣста всегда правильно, періодически повторяются при увеличеніи разстоянія на одну и ту же величину. Такъ найдено:

	Темное кольцо.	Свѣтлое кольцо.	Темное кольцо.	Свѣтлое кольцо.	Темное кольцо.	Свѣтлое кольцо.	Темное кольцо.	Свѣтлое кольцо.
Для красн. свѣта.	0	165 $\mu\mu$.	330 $\mu\mu$.	495 $\mu\mu$.	660 $\mu\mu$.	825 $\mu\mu$.	990 $\mu\mu$.	1155 $\mu\mu$.
„ голуб. „	0	115 $\mu\mu$.	230 $\mu\mu$.	345 $\mu\mu$.	460 $\mu\mu$.	575 $\mu\mu$.	690 $\mu\mu$.	805 $\mu\mu$.

Этотъ результатъ можно выразить другими словами слѣдующимъ образомъ: свѣтовой лучъ не представляетъ собой неизмѣннаго состоянія вдоль своего направленія, какъ, напр., потокъ, съ которымъ его часто сравниваютъ. Напротивъ, тотъ особенный физическій процессъ, который мы воспринимаемъ какъ свѣтъ, правильно, періодически измѣняется вдоль луча. Изъ написанныхъ выше чиселъ слѣдуетъ, что въ красномъ лучѣ свойства повтсряются послѣ разстоянія въ 660 $\mu\mu$, 1320 $\mu\mu$, 1980 $\mu\mu$, и т. д. Въ самомъ дѣлѣ, лучъ, отражающійся отъ второй поверхности, пробѣгаетъ промежутокъ между поверхностями взадъ и впередъ; поэтому, когда величина этого промежутка равна 330 $\mu\mu$, ему прихо-

дится пройти путь на 660 $\mu\mu$ большій, чѣмъ въ томъ случаѣ, когда разстояніе равно 0. Между тѣмъ дѣйствіе его остается тѣмъ же: онъ тушитъ лучъ, отраженный отъ первой поверхности. Въ мѣстахъ, соотвѣтствующихъ разстоянію между поверхностями въ 0, 660, 1320 и т. д., повторяется, такимъ образомъ, одинъ и тотъ же процессъ. Какъ разъ въ серединѣ промежутковъ между этими мѣстами, т.-е. при разстояніяхъ 330, 990, 1650 повторяется прямо противоположный процессъ, ибо при соотвѣтствующихъ разностяхъ хода лучи, отраженные отъ обѣихъ поверхностей, складываются въ особенно сильное освѣщеніе. Одноцвѣтный свѣтъ ведетъ себя въ этомъ отношеніи совершенно такъ же, какъ звукъ чистаго тона. Относительно этого послѣдняго съ давнихъ поръ извѣстно, что онъ представляетъ собой послѣдовательность равномѣрно, періодически повторяющихся сгущеній и разрѣженій воздуха, которыя распространяются отъ одного мѣста къ другому со скоростью 340 метровъ въ секунду. Я повторяю со звукомъ тотъ самый опытъ, который мы только что произвели со свѣтомъ. Я беру два камертона, которые издаютъ одинъ и тотъ же звукъ, когда я привожу ихъ въ колебаніе. Теперь я двигаю одинъ изъ камертоновъ назадъ, и вы ясно слышите, какъ звукъ поперемѣнно нѣсколько разъ усиливается и ослабляется. При опредѣленномъ разстояніи между обоими источниками звуки, издаваемые ими, взаимно усиливаются; при другомъ разстояніи—ослабляются. Мы имѣемъ здѣсь во времени ту самую смѣну процессовъ, которую въ оптическихъ опытахъ наблюдали въ пространствѣ.

Пояснимъ еще это явленіе простымъ графическимъ пріемомъ. Рис. 2 изображаетъ графически отдѣльный звуковой лучъ. Длинная стрѣлка изображаетъ самый лучъ, т.-е. то направленіе, въ которомъ распространяется звуковая волна. Плотность воздуха въ любомъ мѣстѣ для опредѣленнаго момента опредѣляется точкой, разстояніе которой отъ стрѣлки численно равно приросту

плотности воздуха. Всѣ эти точки располагаются на извилистой кривой, изображенной на рис. 2. Тамъ, гдѣ воздухъ сжатъ, точки лежатъ выше стрѣлки (положительное давленіе); тамъ же, гдѣ онъ разрѣженъ—ниже стрѣлки (отрицательное давленіе). Чтобы точно изобразить процессъ распространенія звука, я долженъ былъ бы передвигать извилистую кривую въ направленіи стрѣлки, со скоростью звука. Если въ пространствѣ распространяются волны, исходящія отъ двухъ различныхъ источниковъ, то вообще имѣетъ мѣсто законъ, въ силу котораго однѣ волны распространяются черезъ другія такъ, какъ если бы этихъ послѣднихъ совсѣмъ не существовало. Такъ, можно одновременно слышать всѣ отдѣльные инструменты оркестра. Общее дѣйствіе всѣхъ

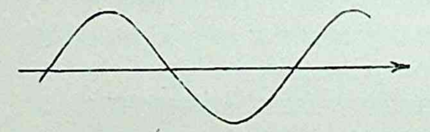


Рис. 2. Волновое движеніе.

волнъ слагается изъ дѣйствій всѣхъ отдѣльныхъ волнъ и получится, если просуммировать измѣненія (въ случаѣ звука, напр., давленій), соотвѣтствующія этимъ отдѣльнымъ волнамъ. Я поясню это на случаѣ двухъ одинаковыхъ волнъ. На рис. 3 у меня графически изображены двѣ звуковыя волны, исходящія отъ различныхъ источниковъ и притомъ для трехъ различныхъ разстояній между этими послѣдними. Мы должны себѣ представить, что каждая кривая, какъ цѣлое, перемѣщается впередъ со скоростью звука. На рис. 3а обѣ волны налагаются другъ на друга почти соотвѣтственными состояніями, и въ результатѣ получается волна, въ которой максимальное уклоненіе давленія отъ средней величины—какъ въ сторону увеличенія, такъ и въ сторону уменьшенія давленія—превосходитъ почти ровно въ два раза уклоненія, образующіяся въ каждой отдѣльной волнѣ. Я замѣчу, кстати, что энергія волны всегда

пропорціональна второй степени того максимальнаго уклоненія, которое получается при періодически измѣняющихся состояніяхъ. Такимъ образомъ, въ случаѣ, соотвѣтствующемъ рис. 3a, энергія, переносимая результирующей волной (такъ называемая «интенсивность лучей»), въ четыре раза больше энергіи, переносимой каждой отдѣльной волной. На рис. 3b у меня изображенъ случай, когда одинъ изъ источниковъ звука нѣсколько отодвинутъ, такъ что максимумы уже не совпадаютъ. Тѣмъ не менѣе, обѣ волны все еще усили-

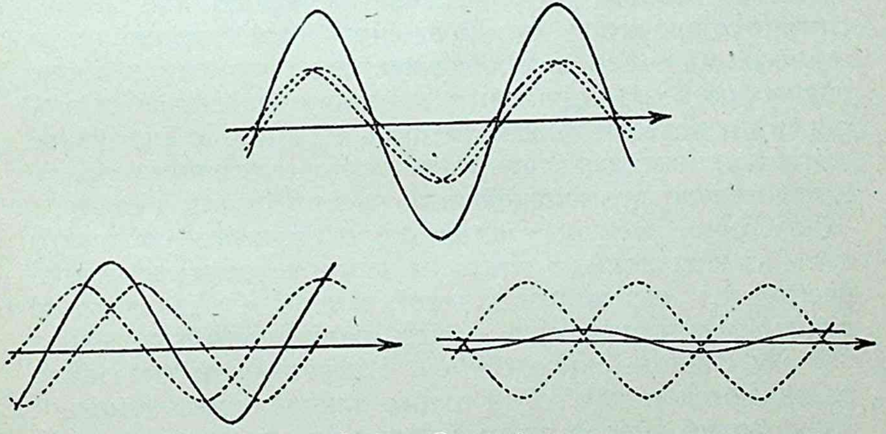


Рис. 3a, b, c. Сложеніе волнъ.

ваютъ другъ друга. Я сдвинулъ обѣ волны другъ относительно друга какъ разъ настолько, что результирующая интенсивность дѣлается равна удвоенной интенсивности каждой отдѣльной волны. Наконецъ, на рисункѣ 3c, смѣщеніе таково, что максимумъ сгущенія одной волны почти совпадаетъ съ максимумъ разрѣженія другой. Теперь обѣ волны почти совершенно уничтожаютъ другъ друга. Если бы сгущеніе въ точности налагалось на разрѣженіе, то интенсивность результирующей волны была бы въ точности равна нулю.

Подобное поперемѣнное взаимное усиленіе и ослабленіе при двухъ однородныхъ процессахъ называется

интерференціей. Разъ мы замѣчаемъ интерференцію, мы можемъ заключить съ непогрѣшимой точностью, что изслѣдуемые процессы являются періодическими измѣненіями.

Всякое періодическое измѣненіе, передающееся отъ одной точки пространства къ другой, называется въ наукѣ волной. Человѣкъ непосвященный при этомъ словѣ слишкомъ охотно вспоминаетъ картину волнующейся поверхности воды и находитъ тогда страннымъ утвержденіе, что прямолинейный свѣтовой лучъ представляетъ собой волны. Даже въ газетныхъ статьяхъ иногда случается прочитать, что по нашимъ современнымъ представленіямъ свѣтъ распространяется не прямолинейно, но волнообразно. Но правильно понятая волнообразная теорія свѣта, какъ вы могли замѣтить, ни коимъ образомъ не пытается противорѣчить нашему повседневному опыту относительно прямолинейности распространенія свѣта.

Разстояніе между такими двумя точками свѣтового луча, въ которыхъ въ точности повторяется тотъ же процессъ, мы называемъ длиной волны. Слѣдовательно длина волны краснаго свѣта равна приблизительно 660 $\mu\mu$, синяго—около 440 $\mu\mu$. Различные чистые цвѣта различаются между собой только длиной волны. Именно: длина волны непрерывно уменьшается отъ краснаго цвѣта черезъ желтый, зеленый, синій до фіолетоваго. Длина волны крайнихъ фіолетовыхъ лучей приблизительно въ два раза меньше, чѣмъ крайнихъ красныхъ.

Я прошу васъ обратить вниманіе на то, насколько маленькими величинами являются эти длины волнъ. Приблизительно такіе же размѣры имѣютъ, какъ я уже и раньше упоминалъ, тѣльца, видимыя еще въ лучшіе микроскопы. Совсѣмъ иное дѣло звукъ: чтобы вы уловили ухомъ интерференцію, я долженъ былъ измѣнять разстояніе между обоими камертонами на нѣсколько метровъ; длины волнъ чистыхъ тоновъ, отъ самаго низкаго до самаго высокаго, заключаются въ предѣлахъ между 10 метрами и нѣсколькими сантиметрами.

Длина волны лучей какого-нибудь цвѣта въ различныхъ средахъ имѣетъ нѣсколько различную величину. Если мы наполнимъ, напр., пространство между линзой и стеклянной пластинкой, которыя мы употребляли для опыта Ньютона, водой, то кольца нѣсколько стянутся. Это зависитъ отъ того, что скорость свѣта въ различныхъ средахъ не одинакова. Если она будетъ меньше, то волны какъ бы сожмутся; длина волны будетъ меньше. Оптика учитъ, что обратное отношенiе скоростей свѣта въ двухъ различныхъ средахъ (оно равно обратному отношенiю длинъ волнъ, которыя имѣютъ въ нихъ лучи одного и того же однороднаго цвѣта), есть не что иное, какъ показатель преломленiя при переходѣ луча изъ одной среды въ другую. Такъ, напр., длина волны въ водѣ составляетъ только около $^3/_4$, а въ обыкновенномъ стеклѣ только $^2/_3$ длины волны въ воздухѣ. Показатели преломленiя воды и стекла относительно воздуха суть соотвѣтственно: 1,33 и 1,5. Имѣемъ, слѣдовательно:

	Воздухъ.	Вода.	Стекло.
Красный цвѣтъ . . .	660 μμ.	495 μμ.	440 μμ.
Синiй „ . . .	460 μμ.	345 μμ.	307 μμ.

Водяныя пленки.

Вы легко теперь поймете, какъ по цвѣту тонкой пластинки, зная ту толщину воздушнаго слоя, при которой замѣчается именно этотъ цвѣтъ, можно вычислить толщину пластинки, пользуясь знанiемъ показателя преломленiя. Толщину же соотвѣтствующаго воздушнаго слоя можно опредѣлить изъ опыта Ньютона, который я вамъ только что показывалъ.

Я помѣщаю теперь въ пучокъ лучей, исходящихъ отъ электрической лампы, вмѣсто «круглаго воздушнаго клина» съ ньютоновыми кольцами, прямоугольный каркасъ, покрытый пленкой жидкаго раствора мыла. На этой пленкѣ тотчасъ появляется система горизонталь-

ныхъ окрашенныхъ полосъ, и именно по этой окраскѣ, которая тѣмъ великолѣпнѣй, чѣмъ выше полоса, сразу видно, что пленка клинообразно заостряется кверху. Это объясняется естественнымъ дѣйствіемъ силы тяжести, подъ вліяніемъ которой жидкость, образующая пленку, стекаетъ внизъ. Поэтому мы получимъ достаточно прочную пленку, только когда прибавленіемъ мыла сдѣлаемъ воду настолько вязкой, что она не особенно быстро будетъ поддаваться дѣйствію силы тяжести, подъ вліяніемъ которой пленка должна была бы тотчасъ разорваться. Но я бралъ все время очень жидкіе растворы мыла, и вы видите, поэтому, какъ полосы чрезвычайно быстро скользятъ внизъ и въ то же время расширяются, т.-е. вы видите, какъ клинъ все время быстро заостряется. Послѣднимъ цвѣтнымъ полосамъ соотвѣтствуютъ приблизительно слѣдующія толщины:

	Воздухъ.	Вода.
Темно-синяя.	300 μμ.	225 μμ.
Пурпуровая	280 μμ.	210 μμ.
Бурая.	220 μμ.	165 μμ.
Бѣлая.	128 μμ.	96 μμ.
Сѣровато-синяя.	80 μμ.	60 μμ.

Затѣмъ на тончайшихъ мѣстахъ блестящей пленки появляются круглыя черныя пятна, похожія на круглыя дыры. Эти дыры увеличиваются и соединяются между собой, такъ что въ концѣ-концовъ получается такая картина, какъ будто между мыльной пленкой и верхней проволокой возникло пустое пространство. Явленіе носитъ тотъ же характеръ, какъ и въ случаѣ масляной пленки на поверхности воды, когда пленка покрывалась какими-то «дырами». Совершенно такъ же, какъ тамъ, и здѣсь на блестящей жидкой пленкѣ появляется невидимый участокъ. Очевидно, что этотъ невидимый участокъ имѣетъ меньшую прочность, чѣмъ болѣе толстая пленка: вскорѣ же послѣ его появленія пленка лопается. Вы можете очень легко наблюдать появленіе чернаго пятна, которое было замѣчено еще Ньютономъ. Для это-

го надо, моя руки, затянуть мыльной пленкой четыреугольникъ, образованный обоими указательными и обоими большими пальцами. Вы увидите вскорѣ, что на этой пленкѣ появится одно или нѣсколько круглыхъ черныхъ пятенъ съ зазубренными краями. Когда эти пятна сдѣлаются немного больше, пленка лопнетъ. Изслѣдованіемъ чернаго пятна, образующагося на мыльной пленкѣ, занимались *Рейнольдъ и Рюккеръ*. Они получали пленки въ закрытомъ сосудѣ, въ которомъ воздухъ былъ насыщенъ водянымъ паромъ, и благодаря этому ихъ пленки гораздо устойчивѣй и прочнѣй. Въ сосудъ вдвигался стержень, къ которому были прикрѣплены близко одна отъ другой двѣ золотыя иголки. Иголки были электрически изолированы другъ отъ друга, и каждая изъ нихъ мѣдной проволокой соединялась съ клеммой. Когда иголки соприкасались съ какой-нибудь частью пленки, то можно было мѣрить электрическое сопротивленіе участка, заключеннаго между ними. Оказалось, какъ можно было и ожидать, что электрическое сопротивленіе обратно пропорціонально толщинѣ пленки. Упомянутые ученые изслѣдовали также черное пятно, и нашли, что здѣсь электрическое сопротивленіе значительно больше, чѣмъ въ видимой части пленки. Они вычислили толщину изслѣдованной ими невидимой пленки, исходя изъ допущенія, что и здѣсь сопротивленіе и толщина обратно пропорціональны; они нашли при этомъ круглымъ числомъ 10 $\mu\mu$. Между тѣмъ тончайшая часть видимой пленки имѣла въ толщину круглымъ числомъ около 50 $\mu\mu$. Подобные же результаты они нашли при помощи спеціально изобрѣтеннаго оптическаго метода. Мы имѣемъ здѣсь, слѣдовательно, совершенно тѣ же явленія, какъ и въ случаѣ маслянаго слоя на поверхности воды: внезапный переходъ отъ прочной видимой пленки къ менѣе прочной невидимой.

	Самый тонкій видимый слой.	Самый толстый невидимый.
Масло на поверхности воды . . .	100 $\mu\mu$.	20 $\mu\mu$.
Пленка изъ мыльной воды . . .	50 $\mu\mu$.	10 $\mu\mu$.

Теперь дѣло за тѣмъ, чтобы изслѣдовать, до какихъ поръ тонкая невидимая пленка еще представляетъ собой нѣкоторое связное цѣлое. Это кажется, на первый взглядъ, совершенно невозможнымъ: вѣдь пленка при той ничтожной прочности, которой она обладаетъ въ черномъ пятнѣ, чрезвычайно быстро разрывается. Мы обязаны лорду Кельвину чрезвычайно остроумной идеей, какъ можно найти, по крайней мѣрѣ, порядокъ величины той толщины, при которой связь нарушается. Лордъ Кельвинъ при этомъ естественно предполагаетъ, что связь эта, какъ и въ случаѣ масляной пленки, дѣйствительно должна когда-нибудь нарушиться, и что тогда изъ воды образуется другое тѣло, которое отличается отъ нея только тѣмъ, что его мельчайшія частицы могутъ двигаться независимо другъ отъ друга. Разница, слѣдовательно, совершенно такая же, какъ между твердымъ песчаникомъ и наноснымъ пескомъ, которымъ вѣтеръ засыпаетъ дюны. Но такое тѣло мы, конечно, уже знаемъ: это—водяной паръ. Представимъ себѣ поршень, прочно входящій въ цилиндръ, который весь наполненъ водой. Если мы станемъ вытягивать поршень изъ цилиндра и при томъ съ такой силой, что цѣльная масса воды въ какомъ-нибудь мѣстѣ разорвется, то промежуточное пространство наполнится совершенно прозрачнымъ безцвѣтнымъ газомъ—водянымъ паромъ. Если же мы втолкнемъ поршень обратно, то изъ водяного пара снова образуется вода. Чтобы разорвать связь между отдѣльными частицами воды и обратить ее, такимъ образомъ, въ паръ, частицы котораго не связаны другъ съ другомъ, мы должны затратить опредѣленное количество энергіи. Но первый основной законъ физики, такъ наз. законъ сохраненія энергіи, гласитъ, что при данномъ начальномъ состояніи (паръ при комнатной температурѣ) сообщенное количество энергіи будетъ одно и то же, по какому бы пути ни происходило превращеніе. Обычный путь превращенія воды въ паръ состоитъ въ сообщеніи энергіи въ формѣ тепла. Для пре-

вращенія 1 килограмма воды въ паръ при атмосферномъ давленіи, слѣдовательно, при 100° С., надо затратить 536 калорій. 1 калорія есть такое количество энергіи, которое надо сообщить, въ видѣ тепла, 1 килограмму воды, чтобы нагрѣть его на 1° С. Въ нашемъ случаѣ, 536 калорій будутъ затрачены не на то, чтобы нагрѣть воду, но на то, чтобы перевести ее въ паръ той же температуры. Можно, однако, обратить воду въ паръ, сооообщая энергію въ видѣ механической работы. Я покажу вамъ это при помощи маленькаго электромотора, на оси котораго насажена латунная трубка. Эту трубку я наполняю водой и по возможности плотно закрываю пробкой. Если я пущу электромоторъ въ ходъ, то онъ не будетъ совершать никакой работы. Но теперь я зажимаю латунную трубку въ деревянныхъ щипцахъ и этимъ стараюсь задержать ея вращеніе. Моторъ, конечно, имѣетъ достаточно силы, чтобы преодолѣть это сопротивленіе, но онъ долженъ при этомъ совершить значительную работу. Вы уже, вѣроятно, замѣчаете, что около пробки, тамъ, гдѣ она не совсѣмъ плотно запираетъ трубку, появляются маленькія облачка. Такимъ образомъ, я дѣйствительно вскипятилъ воду безъ пламени и подогрѣванія, только работой мотора, которая проявляется, въ данномъ случаѣ, въ видѣ теплоты тренія. Наконецъ, упругость пара въ латунной трубкѣ настолько возрастаетъ, что пробка съ трескомъ выбрасывается высоко вверхъ; вслѣдъ за ней вырывается облачко пара. Если бы мы измѣрили, какую работу надо приложить, чтобы 1 килограммъ воды при атмосферномъ давленіи, т.-е. при 100° С., превратить въ паръ, то мы нашли бы: 228,500 килограммометровъ. Одинъ килограммометръ есть количество энергіи, которое надо затратить, чтобы гирю въ 1 килограммъ поднять на высоту одного метра. Вы видите, что энергія въ 228,500 килограммометровъ имѣетъ ту самую величину, какъ 536 калорій; или одна калорія=427 килограммометровъ. Къ этому числу насъ по-

стоянно приводитъ цѣлый рядъ разнообразнѣйшихъ измѣренiй. Мы повторимъ еще разъ: для того, чтобы путемъ механической работы (тепло тренiя) нагрѣть 1 килограммъ воды на 1⁰ С., мы должны затратить то самое количество энергiи, какъ если бы мы пожелали 427 килограм. (около 26 пудовъ) поднять на 1 метръ.

Когда мы заставляемъ воду переходить въ паръ при комнатной температурѣ (заставляемъ испаряться), отгоняя, напр., потокомъ свѣжаго воздуха слой пара надъ водой и, такимъ образомъ, постоянно поддерживая испаренiе, то мы должны также подводить энергiю, иначе вода будетъ постепенно охлаждаться. Это охлажденiе при испаренiи вѣдь каждому хорошо извѣстно. Оказывается, что энергiя, которая затрачивается на испаренiе *при комнатной температурѣ*, даже нѣсколько больше указанной раньше величины. Именно, она равна приблизительно 570 калорiямъ. Теперь можно сдѣлать заключенiе, которое вывелъ лордъ Кельвинъ: мы могли бы обратить воду въ паръ, если бы сдѣлали изъ нея пленку, повсюду одинаково тонкую, и продолжали растягивать ее все дальше и дальше до тѣхъ поръ, пока не нарушилась бы связь между частицами. Этого нельзя, конечно, выполнить въ большихъ размѣрахъ, но въ малыхъ это происходитъ каждый разъ, какъ лопается водяной пузырь,—тамъ, гдѣ появляется черное пятно, которое всегда предшествуетъ разрыву пленки. Но въ маломъ должны имѣть мѣсто тѣ же законы, какъ и въ большомъ.

Спрашивается, нужно ли дѣйствительно затратить работу, чтобы растянуть пленку, и можно ли вычислить величину этой работы?

Всякiй, кто когда-либо выдувалъ мыльные пузыри, знаетъ, что надо приложить извѣстное небольшое давленiе не только, чтобы пузырь выдувался, но и чтобы онъ сохранялся. Если отверстiе трубки оставить открытымъ, пузырь начинаетъ стягиваться, какъ тѣ резиновые шары, которые продаютъ на забаву дѣтямъ на

ярмаркѣ. Оболочка мыльнаго пузыря находится, слѣдовательно, въ такомъ же состояніи упругаго натяженія, какъ и оболочка резиноваго шара. Я покажу вамъ это здѣсь на проекціи. Вы видите на экранѣ мыльный пузырь, соединенный съ маленькимъ манометромъ въ видѣ U-образной трубки, наполненной керосиномъ. Я выдуваю пузырь изъ небольшой каучуковой трубки. Теперь я открываю отверстіе, и вы видите, какъ пузырь стягивается. Если же я закрою отверстіе, то пузырь перестанетъ стягиваться, но тогда поднятіе керосина въ открытомъ колѣнѣ U-образной трубки укажетъ, что, вслѣдствіе незначительнаго сокращенія пузыря, внутри образовался маленькій избытокъ давленія надъ внѣшнимъ. Этотъ избытокъ давленія препятствуетъ дальнѣйшему сокращенію пузыря. Измѣреніями твердо установлено, что натяженіе поверхностнаго слоя жидкости не зависитъ отъ его толщины. Я сейчасъ на опытѣ произведу измѣренія натяженія при помощи вѣсовъ. Съ одной стороны на вѣсахъ виситъ проволочная дужка, оба конца которой погружены въ густой мыльный растворъ. Предварительно я погрузилъ дужку нѣсколько разъ въ мыльную воду, чтобы она была вся смочена, и послѣ этого уравновѣсилъ на вѣсахъ. Вы видите, что стрѣлка вѣсовъ колеблется около нулевого положенія. Теперь я образую тонкую пленку между растворомъ и дужкой, опуская ее сперва въ растворъ и затѣмъ медленно вытягивая оттуда. Если я теперь отпущу коромысло вѣсовъ, то та сторона, гдѣ находится пленка, перетянетъ. Пленка оказываетъ такое же дѣйствіе, какъ будто между растворомъ и дужкой была натянута упругая перепонка. Что вѣсъ пленки здѣсь не играетъ роли, въ этомъ можно убѣдиться легкимъ расчетомъ. Этотъ вѣсъ составляетъ всего нѣсколько миллиграммовъ, и онъ не вызвалъ бы замѣтнаго отклоненія нашихъ вѣсовъ. Мы будемъ класть теперь гири на другую чашку: при 0,6 грамма наступаетъ равновѣсіе. Это, слѣдовательно, и есть сила натяженія пленки. Такъ какъ, далѣе, ея ши-

рина равна 100 миллиметрамъ, то сила натяженія для каждой полосы шириной въ 1 миллиметръ составляетъ 6 миллиграммъ. Если бы мы взяли не такой концентрированный растворъ, какъ тотъ, которымъ я пользовался здѣсь при своемъ демонстраціонномъ опытѣ, въ виду его большой прочности, то мы нашли бы для натяженія большее значеніе. Чистая вода, натяженіе которой тоже можно измѣрить, даетъ отъ 15 до 16. Вообразимъ, что кубикъ воды съ ребромъ въ 1 миллиметръ (слѣдовательно 1 миллиграммъ) внесенъ въ аппаратъ, въ которомъ его можно растянуть въ совершенно равномѣрную пленку. Всѣ неправильности и препятствія пусть будутъ исключены. Растянемъ сперва кубикъ въ пленку въ 1 дециметръ длины. Мы должны при этомъ тянуть вдоль этой прямой (0,1 метра) съ силой 16 милліонныхъ килограмма. Слѣдовательно, мы затрачиваемъ работу въ 1,6 милліонныхъ килограммометра. Полученную пленку растянемъ далѣе на 1 дециметръ въ ширину. Тогда вся затраченная работа составитъ 160 милліонныхъ килограммометра. Миллиграммъ растянутъ теперь въ пленку толщиной въ 100 $\mu\mu$. Вообразимъ, что цѣлый килограммъ воды превращенъ въ пленку толщиной въ 100 $\mu\mu$. Необходимая для этого работа въ милліонъ разъ больше, слѣдовательно она составляетъ 160 килограммометровъ=0,4 калоріямъ. Но это еще не все: какъ показалъ лордъ Кельвинъ, при растягиваніи происходитъ нѣкоторое, хотя и очень незначительное, охлажденіе. Такимъ образомъ, если желательно сохранить температуру постоянной, то надо сообщить пленкѣ нагрѣваніемъ нѣкоторое количество энергіи. Это послѣднее составляетъ приблизительно 43% той механической работы, величину которой мы только что вычислили. Слѣдовательно, чтобы обратить 1 литръ воды въ пленку 100 $\mu\mu$. толщиной, надо сообщить ей еще лишнихъ 0,17 калорій. Вся затрата энергіи, поэтому, составляетъ 0,57 калоріи. Это, очевидно, совершенно ничтожная величина, по сравненію съ тѣмъ количествомъ энергіи, которое необходимо

для испаренія. Чтобы имѣть возможность пойти дальше, примемъ, что пленки, имѣющія толщину, соотвѣтствующую черному пятну, обладаютъ еще тѣмъ же упругимъ натяженіемъ, какъ и толстыя пленки. Такое допущеніе во всякомъ случаѣ не далеко отступаетъ отъ дѣйствительности, такъ какъ мы вѣдь можемъ наблюдать черное пятно въ теченіе продолжительнаго времени, и за это время его натяженіе и натяженіе болѣе толстой пленки взаимно уравновѣшиваются. При дальнѣйшемъ растяженіи чернаго пятна его натяженіе будетъ, правда, уменьшаться, потому что тогда оно расширяется очень быстро, пока не образуется настоящая дыра, и пузырь, какъ извѣстно, лопается. Но какъ бы то ни было, вычисленія, сдѣланныя на основаніи упомянутаго допущенія, будутъ хорошимъ первымъ приближеніемъ. Имѣемъ: для превращенія килограмма воды

въ пленку толщиной:	Необходимо сообщеніе энергіи.
100 μμ.	0,57 калорій
10 μμ.	57 „
1 μμ.	57 „
0,1 μμ.	570 „

Толщина 0,1 μμ есть та, при которой связь между частицами воды совершенно нарушается. Соотвѣтствующая энергія есть какъ разъ энергія испаренія. Въ пленкахъ, толщина которыхъ приближается къ 0,1 μμ, натяженіе, слѣдовательно, должно постепенно уменьшаться, до тѣхъ поръ, пока оно не обратится какъ разъ въ нуль. Ибо 570 калорій есть максимумъ энергіи, которая вообще можетъ быть затрачена при растягиваніи 1 килограмма воды.

Итакъ, мы получаемъ для тончайшихъ водяныхъ пленокъ толщину 0,1 μμ, тогда какъ для соотвѣтствующихъ масляныхъ пленокъ мы уже нашли 0,3—0,5 μμ. Замѣчательно при этомъ, что пути, по которымъ мы дошли до этихъ результатовъ, совершенно различны.

Металлическія пленки на платинѣ.

Въ настоящее время мы умѣемъ получать крайне тонкія пленки не только изъ жидкостей, но и изъ металловъ; эти пленки много тоньше механически изготовленныхъ золотобитами. Такъ, электрическимъ токомъ можно осадить на отрицательномъ электродѣ чрезвычайно малое количество металла въ видѣ равномѣрнаго слоя. Обербекъ поставилъ соотвѣтствующіе опыты, въ которыхъ онъ покрывалъ такимъ способомъ платиновую жесть весьма тонкимъ слоемъ другого металла. Онъ ставилъ другъ противъ друга, въ растворъ соли, двѣ пластинки платиновой жести, изъ которыхъ одна была покрыта металломъ, а другая—совершенно чиста, и мѣрилъ возникающее между пластинками электрическое напряженіе. Когда металлическій осадокъ имѣлъ въ толщину нѣсколько $\mu\mu$, то онъ давалъ такое же напряженіе, какъ и массивный кусокъ того же металла. Когда же онъ былъ значительно тоньше одного $\mu\mu$, то онъ вообще давалъ еле замѣтныя напряженія, какъ будто бы покрытая имъ платиновая жесть повсюду просвѣчивала черезъ осадокъ. Переходъ отъ одного изъ этихъ крайнихъ случаевъ къ другому происходилъ весьма быстро при слѣдующихъ величинахъ толщины:

Цинкъ—2,5 $\mu\mu$; кадмій—1,7 $\mu\mu$; мѣдь—0,7 $\mu\mu$.

Начиная съ этой малой толщины металлы какъ бы перестаютъ быть сплошными. Подобное явленіе мы видѣли выше, въ случаѣ масляной пленки.

Металлическія пленки на стеклѣ.

Еще болѣе интересныя измѣренія можно, вѣроятно, произвести съ очень тонкими металлическими осадками на стеклѣ. Въ сильно эвакуированныхъ гейслеровыхъ трубкахъ, напр., въ тѣхъ, которыя употребляются для полученія рентгеновскихъ лучей, при прохожденіи электрическаго разряда съ катода постоянно испаряется или

«распыляется» нѣкоторое количество металла и осаждается на стеклѣ. Быть можетъ, вы уже замѣчали нѣчто подобное въ электрическихъ лампочкахъ накаливанія. Въ нихъ угольная нить, раскаленная до очень высокой температуры, распыляется; лампочка съ теченіемъ времени совершенно чернѣетъ. Я показываю вамъ теперь старую рентгеновскую трубку, на стеклянныхъ стѣнкахъ которой вы можете видѣть металлическій налетъ. Онъ такъ тонокъ, что пропускаетъ черезъ себя свѣтъ, хотя, за исключеніемъ самыхъ тонкихъ мѣстъ, онъ отражаетъ свѣтъ, какъ настоящее металлическое зеркало. Металлъ, повидимому, покрываетъ стекло сплошнымъ слоемъ. Если выдѣлить въ какомъ-либо мѣстѣ полосу, покрытую болѣе или менѣе толстымъ слоемъ металла, и опредѣлить ея электрическое сопротивленіе, то окажется, что оно равняется сопротивленію проволоки такого же поперечнаго сѣченія и такой же длины, какъ и эта полоса. Далѣе, окажется, что сопротивленіе это, какъ и у всѣхъ металловъ, при нагрѣваніи сильно увеличивается. Я покажу вамъ это увеличеніе сопротивленія на примѣрѣ обыкновенной желѣзной проволоки. Я включаю ее послѣдовательно съ амперметромъ въ цѣпь аккумулятора. Аккумуляторъ имѣетъ напряженіе 2 вольта; силу тока вы отсчитываете по амперметру: она равна 1,6 ампера. Сопротивленіе проволоки поэтому есть 1,25 ома. Я нагрѣваю ее теперь бунзеновской горѣлкой. Стрѣлка амперметра идетъ назадъ до 0,8 ампера и далѣе. Значитъ, сопротивленіе возросло до 2,5 омовъ, или даже болѣе, т.-е., по крайней мѣрѣ, въ два раза. Если я, смочивъ проволоку водой, снова понижу ея температуру, то сила тока скоро возрастетъ до своего первоначальнаго значенія. То же самое наблюдается у стеклянныхъ полосъ, покрытыхъ достаточно толстыми металлическими зеркалами. Напротивъ, полосы, покрытыя крайне тонкимъ металлическимъ налетомъ, проявляютъ совсѣмъ иныя свойства. Во-первыхъ, онѣ обладаютъ бо́льшимъ сопротивленіемъ, чѣмъ металлическая прово-

волока того же поперечнаго сѣченія. Во-вторыхъ, при нагрѣваніи не наблюдается увеличенія сопротивленія; оно иногда даже, наоборотъ, уменьшается. Мы видимъ здѣсь совершенно ясно, что матерія въ состояніи мельчайшаго раздробленія по своимъ свойствамъ уже не тождественна съ большими массами того же вещества.

Въ этомъ послѣднемъ случаѣ еще не произведены соотвѣтствующія измѣренія, однако можно сказать съ увѣренностью, что тѣ предѣльныя значенія толщины, при которыхъ начинаются измѣненія свойствъ матеріи, лежатъ, какъ и всегда, въ области 1 $\mu\mu$.

---

2. Молекулярная теорія.

Всѣ попытки безконечнаго дѣленія матеріи приводятъ къ одному и тому же результату. Именно, оказывается, что путемъ такого послѣдовательнаго дѣленія мы приходимъ, въ концѣ-концовъ, къ границѣ, начиная откуда частицы обладаютъ уже не тѣми свойствами, какъ цѣлое, изъ котораго онѣ получены. Изъ этого мы логически заключаемъ, что матерія имѣетъ зернистое строеніе. Зернышки, изъ которыхъ она строится, мы называемъ молекулами.

Изъ всего, что сказано было выше, мы, нужно сознаться, относительно молекулъ узнали еще чрезвычайно мало. Именно, намъ извѣстно только то, что ихъ физическія свойства должны отличаться отъ свойствъ матеріи, построенной изъ ихъ совокупности. Такъ какъ мы никогда не держали отдѣльныхъ молекулъ въ рукахъ, какъ можемъ держать, скажемъ, отдѣльныя песчинки, то ясно, что мы не можемъ непосредственно изслѣдовать свойства молекулъ. Однако же свойства матеріи должны опредѣляться двумя факторами: во-первыхъ, характеромъ ея построенія изъ молекулъ, т.-е. структурой, и, во-вторыхъ, свойствами отдѣльныхъ мо-

лекулъ. Поэтому, изученіе матеріи, какъ цѣлаго, даетъ ключъ къ уясненію и ея структуры и свойствъ отдѣльныхъ молекулъ. Само собой разумѣется, что изъ изученія зданія матеріи въ цѣломъ очень трудно сдѣлать какія-либо заключенія о свойствахъ тѣхъ «кирпичей», изъ которыхъ оно построено. Повидимому, единственный вообще возможный способъ подвинуться впередъ здѣсь состоитъ въ томъ, чтобы итти, такъ сказать, обратнымъ путемъ, т.-е. сперва гипотетически приписать молекуламъ такія свойства, которыя соотвѣтствовали бы сдѣланнымъ наблюденіямъ, а затѣмъ, на основаніи этихъ свойствъ, предвычислить свойства матеріи въ цѣломъ. Если предвычисленіе совпадетъ съ наблюденіями, то мы на этомъ предварительно и успокаиваемся, и принимаемъ, что свойства, гипотетически приписанныя молекуламъ, на самомъ дѣлѣ приблизительно соотвѣтствуютъ дѣйствительности. Мы кладемъ ихъ въ основаніе дальнѣйшихъ выводовъ и, такимъ образомъ, имѣемъ постоянно поводы къ дальнѣйшему расширенію круга нашихъ изслѣдованій. Эти изслѣдованія полезны уже по тому одному, что сильно обогащаютъ наши знанія о матеріи. Но какъ только мы наталкиваемся на какія-либо уклоненія, мы тотчасъ пытаемся исправить допущенныя свойства такъ, чтобы снова возстановилось совпаденіе. Такимъ образомъ, мы изслѣдуемъ свойства молекулъ способомъ послѣдовательныхъ приближеній, и мы можемъ надѣяться, что въ концѣ-концовъ дойдемъ и до вполнѣ точнаго знанія свойствъ молекулъ. Нѣкоторыя основныя допущенія молекулярной теоріи, дѣлаемыя въ настоящее время, безъ сомнѣнія, соотвѣтствуютъ истинѣ въ очень полной мѣрѣ.

Масса и вѣсъ молекулъ.

Существуютъ двѣ величины, которыя для каждаго даннаго тѣла обнаруживаютъ замѣчательное постоянство. Это—слѣдующія величины: вѣсъ тѣла, т.-е. сила, съ которой оно притягивается землей, и инерція (масса),

т.-е. сопротивленіе тѣла движенію, или—точнѣе говоря—измѣненію его движенія. Обѣ величины, какъ учитъ опытъ, взаимно пропорціональны; зная одну изъ нихъ, можно тотчасъ же вычислить и другую. Если раздѣлить тѣло на любое число частей, то сумма вѣсовъ этихъ отдѣльныхъ частей всегда равна вѣсу всего тѣла. Обратно: при соединеніи многихъ тѣлъ въ одно, напр., при сплавленіи, вѣсъ новаго тѣла долженъ равняться суммѣ вѣсовъ составляющихъ его частей. Можно раздробить тѣло въ тончайшую пыль, можно даже раздѣлить его на отдѣльныя молекулы (напр., обращая его въ паръ), но все-таки этотъ простой законъ сохранитъ свою силу.

Отсюда слѣдуетъ, что молекуламъ, какъ и всему тѣлу, соотвѣтствуетъ опредѣленный вѣсъ и опредѣленная масса, и что масса отдѣльныхъ молекулъ въ суммѣ даетъ какъ разъ массу всего тѣла, которое онѣ составляютъ.

Химическія и физическія превращенія.

Всѣ превращенія, которыя можетъ испытывать тѣло, можно раздѣлить на два класса.

Къ первому принадлежатъ такія превращенія, при которыхъ масса каждой отдѣльной молекулы остается въ теченіе всего времени постоянной. Въ этомъ случаѣ и число ихъ будетъ постояннымъ, и измѣненіе тѣла обусловлено, главнымъ образомъ, перемѣной въ группировкѣ молекулъ. Ко второму классу принадлежатъ такія превращенія, при которыхъ масса отдѣльныхъ молекулъ измѣняется. Если масса каждой молекулы будетъ уменьшаться, то число молекулъ должно увеличиться, какъ будто каждая распалась на части. Если же масса отдѣльной молекулы будетъ увеличиваться, то число молекулъ должно уменьшиться, какъ будто онѣ по нѣскольку штукъ слѣпились въ новыя молекулы соотвѣтственно большей величины. Въ наиболѣе общемъ случаѣ оба эти процесса—распадъ и соединеніе молекулъ—будутъ происходить одновременно.

Принадлежитъ ли изслѣдуемый процессъ къ первому или ко второму классу—этого часто еще нельзя установить строго обоснованными методами. Но наши сужденія покоятся на такомъ большомъ количествѣ взаимно поддерживающихъ другъ друга основаній, что рѣдко можно усомниться въ ихъ истинности. Процессы перваго рода называются физическими, процессы второго рода—химическими.

Молекулярныя силы.

Къ физическимъ процессамъ мы причисляемъ, между прочимъ, упругія деформаціи, напримѣръ, сжатіе и растяженіе тѣла. Въ качествѣ примѣра вообразимъ цилиндръ, наполненный водой и плотно закрытый поршнемъ, который можно вытягивать изъ цилиндра и вдвигать въ него. При обѣихъ деформаціяхъ мы должны преодолѣть значительныя сопротивленія. Мы дѣлаемъ отсюда слѣдующія заключенія: во-первыхъ, молекулы должны быть скрѣплены силами взаимнаго притяженія, которыя противодѣйствуютъ растяженію—это такъ наз. силы сцѣпленія; во-вторыхъ, молекулы другъ для друга непроницаемы и упруги, вслѣдствіе чего при сближеніи въ нихъ развиваются отталкивательныя силы, которыя и противодѣйствуютъ давленію. Въ этомъ отношеніи молекулы подобны скопленію резиновыхъ мячиковъ. Въ цѣломъ мы должны описать поведеніе молекулъ слѣдующимъ образомъ:

Если молекулы находятся на сравнительно большомъ разстояніи другъ отъ друга, то между ними дѣйствуютъ притягательныя силы, которыя стремятся ихъ сблизить; если же молекулы расположены слишкомъ близко другъ къ другу, то между ними дѣйствуютъ уже отталкивательныя силы, которыя стремятся удалить ихъ другъ отъ друга. При нѣкоторомъ среднемъ положеніи силы, очевидно, будутъ равны нулю.

Сюда присоединяется еще гипотетическое утвержде-

ніе, что отталкивательная сила уже при очень незначительномъ сближеніи молекулъ должна чрезвычайно быстро возрастать отъ нуля до колоссально большихъ значеній. Это представленіе выработано подъ непосредственнымъ впечатлѣніемъ картины, представляемой движущимися и сталкивающимися билліардными шарами. При тѣхъ крайне незначительныхъ деформаціяхъ, которыя испытываютъ при взаимныхъ столкновеніяхъ шары изъ слоновой кости, упругія силы, вызывающія ихъ отталкиваніе, становятся уже чрезвычайно большими.

Допущеніе относительно быстрой измѣнчивости отталкивательныхъ силъ оказалось въ наукѣ очень полезнымъ. Но представленіе, что молекулы ведутъ себя, какъ простые мячи, есть лишь грубое приближеніе къ дѣйствительности. Болѣе точныя изслѣдованія достовѣрно показали, что поведеніе молекулъ въ большинствѣ случаевъ гораздо сложнѣе.

Химически однородныя тѣла.

Химія учитъ насъ отличать *однородныя* тѣла, которыя, испытывая тѣ или иныя физическія и химическія превращенія, ведутъ себя, какъ одно цѣлое, отъ *смѣсей*, которыя уже при многихъ простыхъ процессахъ сами по себѣ распадаются на нѣсколько частей, участвующихъ въ процессѣ каждая по-своему. Простой примѣръ подобныхъ однородныхъ тѣлъ даетъ намъ растворъ соли. При нагрѣваніи надъ этимъ растворомъ образуется паръ чистой воды, а соль остается въ жидкости. Наоборотъ, при охлажденіи осѣдаетъ чистая соль, если только растворъ не очень разведенный; въ случаѣ же разведеннаго раствора при замерзаніи образуется ледъ изъ чистой воды. Большинство тѣлъ, встрѣчающихся въ природѣ, является смѣсями. Такъ, напр., стекло есть тѣло, которое представляется на первый взглядъ очень однороднымъ, но которое при болѣе обстоятельномъ изслѣдованіи оказывается смѣсью. Когда химически однород-

ныя тѣла переходятъ въ твердое состояніе, то почти всѣ они безъ исключенія образуютъ кристаллы, если только самый процессъ затвердѣванія происходитъ не слишкомъ быстро. Даже металлы являются только видимо-аморфными тѣлами. Какъ показываетъ болѣе точное изслѣдованіе, они состоятъ только изъ маленькихъ кристалликовъ, самымъ безпорядочнымъ образомъ переплетающихся другъ съ другомъ. Большая часть минераловъ также построена изъ кристалловъ. Стекло является лучшимъ примѣромъ сравнительно рѣже встрѣчающихся не-кристаллическихъ тѣлъ. Я не могу здѣсь

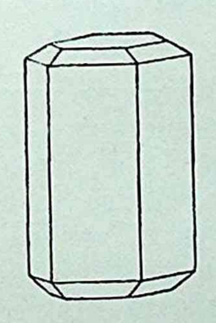


Рис. 4. Смарагдъ (ось симметріи 6-го порядка).

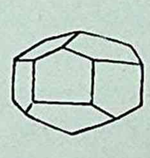


Рис. 5. Известковый шпатъ (ось симметріи 3-го порядка).

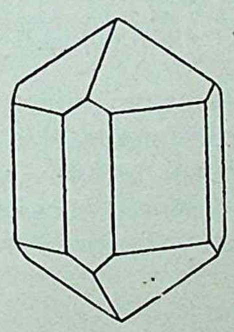


Рис. 6. Оловяный камень (съ осью симметріи 4-го порядка).

останавливаться на многихъ въ высшей степени интересныхъ и своеобразныхъ свойствахъ кристалловъ. Я долженъ только отмѣтить, что у кристалловъ постоянно повторяются опредѣленные случаи симметріи. Такъ, одни кристаллы имѣютъ ось симметріи шестого порядка, напр., смарагдъ (рис. 4); другіе, какъ, напр., известковый шпатъ (рис. 5), и горный хрусталь—ось третьяго порядка; третьи, какъ, напр., оловяный камень,—ось четвертаго порядка или, какъ плавиковый шпатъ (рис. 7)—три взаимно перпендикулярныя оси четвертаго порядка; многіе кристаллы, какъ, напр., гипсъ (рис. 8), имѣютъ одну ось второго порядка или, какъ сѣра (рис. 9)—три оси второго порядка; наконецъ, су-

ществуютъ такіе кристаллы [напр., мѣдный купоросъ (рис. 10)], которые вообще не имѣютъ осей симметріи. Несмотря на все разнообразіе, мы замѣчаемъ тутъ со-

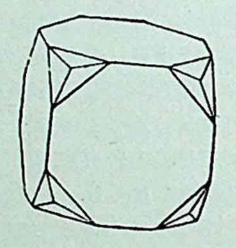


Рис. 7. Плавиковый шпатъ (съ 3-мя осями симметріи 4-го порядка).

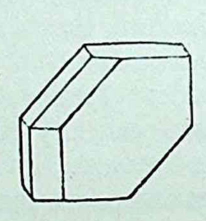


Рис. 8. Гипсъ (съ одной осью 2-го порядка).

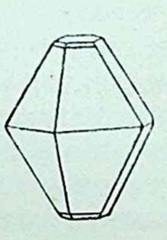


Рис. 9. Сѣра (съ тремя осями 2-го порядка).

вершенно опредѣленнымъ образомъ выраженную закономѣрность. Не существуетъ ни одного кристалла, который имѣлъ бы одну ось пятаго порядка, или, напр., седьмого, восьмого или девятаго порядка. Болѣе того: мы увѣрены, что такіе кристаллы никогда и не найдутся. Это чрезвычайно замѣчательная закономѣрность обусловлена, безъ сомнѣнія, молекулярнымъ строеніемъ твердаго тѣла. Въ самомъ дѣлѣ, вообразимъ, что твердое тѣло построено изъ совершенно одинаковыхъ элементарныхъ тѣлецъ, связанныхъ извѣстными силами, и дѣйствующихъ другъ на друга по одному и тому же закону. Тогда окажется, что подобнымъ образомъ устроенное тѣло можетъ обладать исключительно тѣми видами симметріи, которые уже извѣстны намъ у кристалловъ.

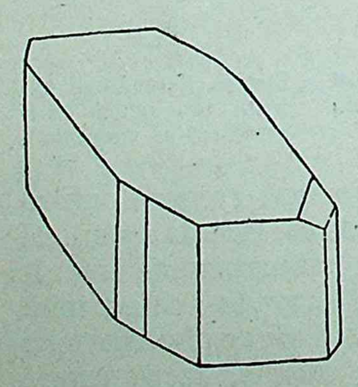


Рис 10. Мѣдный купоросъ (безъ осей симметріи).

Такъ какъ всѣ химически-однородныя тѣла кристаллизуются, то мы заключаемъ, что они всюду построены изъ физически идентичныхъ между собой молекулъ.

Теорія газовъ.

Какъ извѣстно, существуютъ три различныя аггрегатныя состоянія матеріи: твердое, жидкое и газообразное. Съ нашей точки зрѣнія это значитъ слѣдующее: твердымъ является то тѣло, молекулы котораго очень тѣсно связаны между собой. Онѣ, эти молекулы, еще могутъ, въ узкихъ предѣлахъ, совершать колебанія, но онѣ уже теряютъ способность отрываться отъ общей массы и двигаться поступательно черезъ междумолекулярные промежутки. Словомъ, молекулы въ твердомъ тѣлѣ связаны между собой такъ, какъ отдѣльныя песчинки въ песчаникѣ. Тѣло находится въ жидкомъ состояніи, когда его молекулы уже обладаютъ достаточной подвижностью, какъ песчинки въ кучѣ песка. Но въ то же время молекулы жидкаго тѣла должны быть настолько связаны сцѣпленіемъ, чтобы тѣло все время обладало рѣзко ограниченной поверхностью. Наконецъ, газомъ является то тѣло, молекулы котораго удалены на большія разстоянія и носятся между сонмомъ себѣ подобныхъ, какъ частички въ облакѣ пыли. Въ газѣ силы сцѣпленія равны нулю.

Газы легче всего доступны теоретическому изслѣдованію, потому что тутъ мы имѣемъ дѣло съ отдѣльными до извѣстной степени молекулами. Поэтому мы и займемся теперь, главнымъ образомъ, газомъ.

Можетъ ли быть, что молекулы не стянутся силами сцѣпленія такъ близко, какъ въ твердомъ тѣлѣ? Не противорѣчитъ ли прямо существованіе газовъ тѣмъ простѣйшимъ механическимъ представленіямъ о строеніи матеріи, которыя мы создали? Дѣйствительно, противорѣчило бы, если бы молекулы находились въ покоѣ. Но въ томъ-то и дѣло, что этого не бываетъ.

У меня имѣется цилиндръ, наполненный бурымъ газомъ и закрытый стеклянной пластинкой. Газъ этотъ— бромъ. Я ставлю на наполненный имъ цилиндръ другой цилиндръ, наполненный воздухомъ, такимъ образомъ,

чтобы отверстіе его было обращено внизъ, и удаляю стеклянную пластинку, которая до сихъ поръ раздѣляла бромъ и воздухъ. Намъ не придется долго ждать, чтобы увидѣть, какъ газъ верхняго цилиндра начнетъ мало-по-малу окрашиваться въ бурый цвѣтъ, а бурая окраска содержимаго нижняго цилиндра нѣсколько поблѣднѣетъ. Въ данномъ случаѣ не возникаетъ новаго тѣла. Разнообразными методами можно убѣдиться, что въ томъ и другомъ цилиндрѣ мы получаемъ только смѣсь воздуха и брома, изъ которой мы всегда легко можемъ извѣстнымъ образомъ «отцѣдить» ту или другую составную часть. Такимъ образомъ, бромъ проникъ въ воздухъ верхняго цилиндра, а воздухъ, наоборотъ,— въ бромъ нижняго цилиндра, несмотря на то, что бромъ значительно тяжелѣй воздуха. Совершенно такимъ же образомъ стали бы передвигаться газовыя частички, если бы мы вмѣсто брома взяли какой-нибудь другой газъ. Мы должны изъ этого заключить, что передвиженіе происходитъ и тогда, когда у насъ въ верхнемъ и въ нижнемъ цилиндрѣ находится одинъ и тотъ же газъ, напр., воздухъ, хотя въ этомъ случаѣ мы уже не можемъ непосредственно обнаружить передвиженія. При этомъ, хотя смѣсь образуется на вашихъ глазахъ, въ самомъ газѣ нельзя замѣтить даже ничтожнаго движенія. Я могъ бы помѣстить туда всевозможныя легкія тѣльца, которыя должны были бы двигаться подъ вліяніемъ легчайшаго дуновенія воздуха. Но и эти тѣльца никакого движенія въ нашемъ газѣ не обнаружили бы. Мы заключаемъ отсюда, что молекулы газа, даже тогда, когда онъ находится въ кажущемся покоѣ, оживленно, но безпорядочно двигаются туда и сюда. Нѣкоторыя молекулы, несмотря на неправильный зигзагообразный путь, проходятъ, даже въ теченіе немногихъ секундъ, замѣтныя разстоянія.

Теперь наша картина газа сдѣлалась довольно полной. По нашему представленію, газъ является скопленіемъ громаднаго числа маленькихъ тѣлецъ, которыя

обладаютъ такими же свойствами, какъ крошечные билліардные шарики. Съ большими скоростями, но совершенно безпорядочно носятся они черезъ пространство, занятое газомъ, часто сталкиваются, и при этомъ съ такой силой отскакиваютъ другъ отъ друга, что дѣйствующія между ними силы притяженія можно совсѣмъ не принимать въ расчетъ. Поэтому мы можемъ при нашихъ вычисленіяхъ часто совсѣмъ отвлекаться отъ этихъ притягательныхъ силъ. Подобное тѣло должно немедленно разсѣяться во всѣ стороны, если этому не будутъ препятствовать какія-либо прочныя стѣнки. И дѣйствительно, самое первое свойство газа, которое наблюдалъ Отто фонъ-Герике, изобрѣтатель воздушнаго насоса, и послѣ него безконечное множество наблюдателей, состоитъ въ томъ, что газъ, введенный въ совершенно пустой сосудъ, мгновенно распространяется во всемъ предоставленномъ ему пространствѣ. Сдерживаютъ газъ только стѣнки сосуда; молекулы газа непрестанно налетаютъ на стѣнки, ударяются о нихъ, и, подъ вліяніемъ упругихъ силъ молекулъ стѣнокъ, отскакиваютъ назадъ. Эти безпрестанные удары суммируются въ одну силу давленія, которая стремится раздвинуть стѣнки сосуда. Совершенно аналогично, струя воды, направленная на какой-либо предметъ, давитъ на этотъ предметъ. Для того, чтобы выдержать это давленіе, либо стѣнки сосуда должны быть очень прочными, либо сосудъ долженъ быть окруженъ газомъ и снаружи: тогда его давленіе извнѣ уравновѣситъ внутренній напоръ. Общеизвѣстные опыты съ воздушнымъ насосомъ лучше всего демонстрируютъ величину давленія газа.

Я покажу вамъ одинъ изъ подобныхъ опытовъ. У меня имѣется прочный латунный сосудъ въ видѣ полушарія, съ шлифованными краями. Сосудъ этотъ герметически закрытъ примазанной къ нему стеклянной пластинкой, толщиной въ 2 mm. Черезъ маленькое отверстіе, имѣющееся въ сосудѣ, станемъ выкачивать оттуда насосомъ воздухъ. Мы удаляемъ, такимъ образомъ, мо-

лекулы воздуха по одну сторону отъ стеклянной пластинки. Между тѣмъ, съ другой стороны молекулы атмосферы продолжаютъ бомбардировать ее съ той же силой, какъ и прежде. Черезъ небольшой промежутокъ времени изъ сосуда будетъ удалено такъ много молекулъ, что стеклянная пластинка не сможетъ выдержать односторонней бомбардировки: она съ громкимъ трескомъ лопается и разсыпается вдребезги.

Не трудно подсчитать величину давленія p, обусловленнаго ударами молекулъ. Оно, во-первыхъ, пропорціонально числу молекулъ, налетающихъ въ теченіе одной секунды на каждый квадратный сантиметръ стѣнки. Это же число, въ свою очередь, будетъ тѣмъ больше, чѣмъ больше число N молекулъ, заключающихся въ одномъ кубическомъ сантиметрѣ, и чѣмъ быстрѣе эти молекулы движутся. Если v есть средняя скорость молекулы, то первый факторъ въ выраженіи для p есть, слѣдовательно, Nv. Во-вторыхъ, давленіе пропорціонально средней силѣ толчка, который сообщаетъ молекула стѣнкѣ. Но эта сила пропорціональна mv, гдѣ m—масса молекулы, а v—средняя скорость. Слѣдовательно, выраженіе для давленія p пропорціонально Nmv^2, и для полнаго его выраженія не хватаетъ только числового множителя. Подсчетъ показываетъ, что этотъ числовой множитель равенъ $^1/_3$. Слѣдовательно:

$$p = {}^1/_3\ Nmv^2.$$

Далѣе, математическое изслѣдованіе приводитъ къ результату, что если существуютъ различные сорта молекулъ съ различными массами: m_1, m_2, ..., то и средні́я скорости отдѣльныхъ сортовъ молекулъ должны имѣть различныя значенія: v_1, v_2, ..., при чемъ:

$$m_1 \cdot v_1^2 = m_2 \cdot v_2^2 = \ldots$$

До тѣхъ поръ, пока это условіе не будетъ выполнено для всей массы газа, т.-е. до тѣхъ поръ, пока среднее значеніе mv^2 не получитъ во всѣхъ мѣстахъ одну

и ту же величину, будетъ происходить постепенное выравниванiе среднихъ скоростей. Тамъ, гдѣ mv^2 больше, чѣмъ въ окружающихъ мѣстахъ, молекулы соударяются съ остальными молекулами настолько сильнѣй, что постепенно отдаютъ свой излишекъ скорости. Тамъ же, гдѣ mv^2 меньше, чѣмъ въ окружающихъ мѣстахъ, происходитъ обратное явленiе. Наконецъ, наступаетъ равномѣрное распредѣленiе скоростей, при которомъ среднее значенiе mv^2 повсюду одинаково.

Мы видимъ, что здѣсь средняя скорость (точнѣе mv^2) играетъ роль, совершенно аналогичную роли температуры тѣла. Ибо, если температура въ различныхъ точкахъ тѣла не одинакова, то само собой происходитъ постепенное выравниванiе температуры. Ясно также, что свойства тѣла должны мѣняться съ измѣненiемъ средней скорости его безпорядочнаго молекулярнаго движенiя. Другими словами: опредѣленной средней быстротѣ этого движенiя соотвѣтствуетъ опредѣленное состоянiе тѣла, которое должно проявляться какимъ-либо замѣтнымъ для насъ образомъ. Съ другой стороны, мы знаемъ только одну характеристику тѣла, обладающую способностью къ самостоятельному выравниванiю—его температуру. Поэтому и пришли къ убѣжденiю, что напряженность внутренняго молекулярнаго движенiя нами воспринимается какъ температура. Два тѣла будутъ имѣть равныя температуры, если $m_1 v_1^2 = m_2 v_2^2$.

Мы принимаемъ, слѣдовательно, что свойства и состоянiе тѣла будутъ полностью описаны, если только будетъ извѣстно механическое состоянiе его молекулъ, т.-е. ихъ положенiе, ихъ силы взаимодѣйствiя и скорости. Температура же есть свойство всего тѣла въ его цѣломъ. Холодныхъ, теплыхъ, накаленныхъ молекулъ вообще не существуетъ.

Это есть основное допущенiе молекулярной теорiи. Оно было сдѣлано впервые Клаузiусомъ, основателемъ этой теорiи, и развито далѣе Максвелломъ и Больтцма-

номъ, продолжившими его дѣло. Во всѣхъ дальнѣйшихъ изслѣдованіяхъ это допущеніе постоянно получало блестящее подтвержденіе. Прежде всего было показано, что количество энергіи, необходимое для повышенія температуры газа на 1^0 С,—такъ наз. удѣльная теплота,—совпадаетъ съ теоретически вычисленной величиной энергіи, потребной для соотвѣтствующаго увеличенія нестройнаго движенія молекулъ.

Первымъ успѣхомъ теоріи является написанное выше выраженіе для давленія газа. Изъ этого равенства мы можемъ почерпнуть три важныхъ закона, которые вполнѣ согласуются съ опытомъ и были извѣстны задолго до развитія теоріи.

Во-первыхъ, при постоянной температурѣ (mv^2 постоянно) давленіе газа пропорціонально его плотности (т.-е. числу N)—законъ Маріотта.

Во-вторыхъ, при постоянной плотности газа (т.-е. при N=const) давленіе пропорціонально температурѣ (mv^2). Это—законъ Гей-Люссака. При этомъ мы имѣемъ въ виду температуру, отсчитанную отъ такъ наз. абсолютнаго нуля [1]) (-273^0). (Такимъ образомъ, точка плавленія льда есть 273^0 по абсолютной шкалѣ; температура кипѣнія воды есть 373^0 по абсолютной шкалѣ.) Оказывается, что абсолютный нуль температуры имѣетъ простое значеніе: онъ представляетъ такое состояніе, въ которомъ молекулы остаются въ полномъ покоѣ ($v=o$).

Въ-третьихъ, два различныхъ газа при одномъ и томъ томъ же давленіи ($p_1=p_2$), и при одной и той же температурѣ ($m_1 v_1^2=m_2 v_2^2$) заключаютъ одно и то же число молекулъ (N) въ кубическомъ сантиметрѣ. Или: при одинаковыхъ давленіи и температурѣ удѣльные вѣса двухъ газовъ относятся какъ (извѣстные изъ химіи) молекулярные вѣса—законъ Авогадро.

Наше выраженіе для давленія позволяетъ также вы-

---

[1]) Это есть та предѣльная величина, ниже которой температура не можетъ опуститься ни при какихъ условіяхъ.

вести одно интересное слѣдствіе относительно среднихъ значеній скоростей безпорядочныхъ молекулярныхъ движеній. Именно, такъ какъ $N \cdot m = \rho$—вѣсу кубическаго сантиметра газа, т.-е. его удѣльному вѣсу, то можно найти, что $v = \sqrt{3 \frac{p}{\rho}}$. И вотъ, оказывается, что среднія скорости молекулъ различныхъ газовъ при 0^0 имѣютъ слѣдующія величины:

Водородъ	1844	метр./сек.
Кислородъ	461	„ „
Азотъ	492	„ „

Величины эти того же порядка, какъ и скорости ядеръ нашихъ орудій при употребленіи сильнѣйшихъ взрывчатыхъ веществъ. Онѣ объясняютъ намъ тѣ могучія дѣйствія воздушнаго давленія, примѣръ которыхъ мы видѣли выше.

Средняя длина пути.

Несмотря на такія громадныя скорости, молекулы пролетаютъ небольшія пространства. Онѣ должны быть такъ многочисленны и, вслѣдствіе этого, должны быть расположены такъ близко другъ отъ друга, что каждая молекула, пролетѣвши очень маленькое разстояніе, сталкивается съ другой и поэтому продолжаетъ свой путь уже по иному направленію. Насъ убѣждаетъ въ этомъ уже сравнительно медленное распространеніе диффузіи. Естественно, что физическія свойства газа должны въ значительной степени опредѣляться тѣмъ, какой путь пролетаетъ частица, прежде чѣмъ она столкнется съ другой. Мы называемъ длину этого пути, или, вѣрнѣе, его среднее значеніе, средней длиной пути молекулы. Три свойства газа главнымъ образомъ зависятъ отъ этой средней длины пути. Во-первыхъ: скорость диффузіи, которая, сама собою разумѣется, тѣмъ больше, чѣмъ больше длина пути. Во-вторыхъ, теплопроводность. Двѣ

части газа, имѣющія различныя температуры, можно до извѣстной степени трактовать, какъ два различныхъ газа, которые диффундируютъ другъ въ друга: теплый въ холодный и наоборотъ. Въ-третьихъ: внутреннее треніе газа. Именно, когда одинъ слой газа течетъ, скользитъ вдоль другого, то, вслѣдствіе того, что молекулы диффундируютъ черезъ поверхность скольженія, оба слоя, такъ сказать, цѣпляются другъ за друга. Молекулы, диффундирующія изъ слоя, движущагося съ большей скоростью, въ слой, движущійся съ меньшей скоростью, нѣсколько ускоряютъ этотъ послѣдній. Молекулы же,

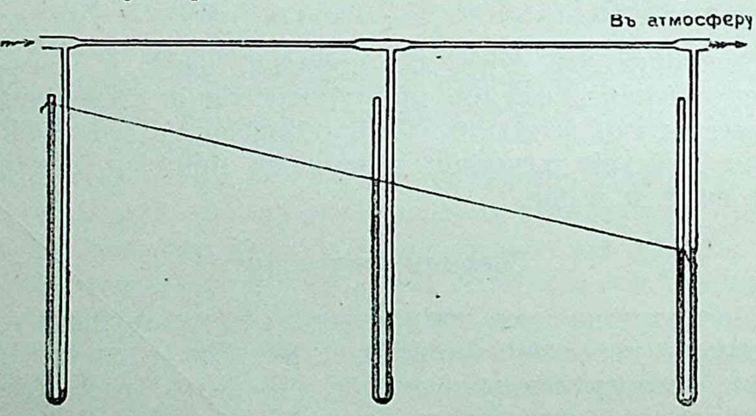


Рис. 11. Внутреннее треніе воздуха.

диффундирующія въ противоположную сторону, слегка замедляютъ слой, движущійся быстрѣй. Такимъ образомъ, безпорядочное движеніе молекулъ стремится выровнять неодинаковость движенія слоевъ. Но при этомъ значительная часть скорости потока превращается въ безпорядочное движеніе, или, какъ говорятъ, энергія движенія, вслѣдствіе тренія, обращается въ тепло. Будемъ прогонять воздухъ, при помощи мѣховъ, черезъ очень тонкую трубку (капилляръ) (рис. 11). Неподвижная стеклянная стѣнка также состоитъ изъ молекулъ, которыя и вступаютъ во взаимодѣйствіе съ молекулами воздуха. Именно, онѣ стремятся задержать эти послѣднія,

и можно экспериментально доказать, что ихъ дѣйствіе настолько сильно, что слои воздуха, непосредственно соприкасающіеся со стѣнками капилляра, дѣйствительно остаются въ покоѣ. Ближайшіе къ стѣнкѣ воздушные слои стремятся, въ свою очередь, задержать внутренніе, и потому надо приложить извѣстное давленіе, чтобы газъ вообще началъ протекать по трубкѣ. Величину этого давленія можно отсчитывать по водянымъ манометрамъ, которые я придѣлалъ по концамъ капилляра и въ серединѣ его. У конца капилляра, открывающагося въ воздухъ, мы не замѣчаемъ никакого перевѣса внутренняго давленія надъ наружнымъ. Излишекъ давленія въ серединѣ оказывается въ два раза меньшимъ, чѣмъ въ началѣ. Это видно изъ того, что жидкость въ среднемъ манометрѣ какъ разъ достигаетъ до черной нитки, натянутой точно по направленію прямой, соединяющей верхушки жидкости въ первомъ и третьемъ манометрахъ. Слѣдовательно, тренія въ обѣихъ половинахъ трубки одинаковы. Прежде чѣмъ показывать дальнѣйшіе опыты, я вкратцѣ разсмотрю найденные результаты съ точки зрѣнія теоріи.

Упомянутыя три величины: диффузія, теплопроводность и внутреннее треніе зависятъ отъ плотности газа, его температуры, а кромѣ этого только отъ средней длины пути молекулъ. Точный расчетъ долженъ дать простое числовое соотношеніе между этими совершенно различными свойствами, при чемъ экспериментальное подтвержденіе этого соотношенія должно быть важнымъ доказательствомъ правильности теоріи. Но, къ сожалѣнію, расчетъ настолько труденъ, что онъ выполненъ до сихъ поръ только при упрощающемъ допущеніи, что молекулы ведутъ себя просто, какъ билліардные шары, а не такъ сложно, какъ это имѣетъ мѣсто на самомъ дѣлѣ. Результатъ получается какъ разъ такой, какого и можно было ожидать: теоретически вычисленныя отношенія приблизительно совпадаютъ съ полученными экспериментально, но все же наблюдаются и замѣтныя отклоне-

нія. Поэтому и вычисленіе средней длины пути на основаніи этихъ данныхъ является не вполнѣ строгимъ, да и получающіяся величины не вполнѣ одинаковы; при указанныхъ трехъ методахъ расчета получаются расхожденія до 20 и 30%. Впрочемъ, порядокъ величины средней длины пути мы можемъ выяснить съ полной увѣренностью. Я сообщу вамъ нѣкоторые результаты.

Наиболѣе интересными и странными являются предсказанія теоріи относительно внутренняго тренія газовъ. Именно: Максвеллъ установилъ законъ, въ силу котораго для одного и того же газа, при постоянной температурѣ, внутреннее треніе не зависитъ отъ плотности.

Подъ колоколомъ воздушнаго насоса у меня подвѣшенъ на тонкой нити легкій слюдяной кружокъ. Нить прикрѣплена къ центру кружка, благодаря чему онъ находится въ горизонтальномъ положеніи и легко можетъ колебаться вокругъ своей оси. Чтобы можно было приводить кружокъ въ движеніе снаружи, я приклеилъ къ нему намагниченную иголку. Слѣдовательно, если я стану подносить снаружи магнитъ, то я могу заставить кружокъ повернуться на какой угодно уголъ. Маленькій бумажный указатель позволяетъ намъ легко слѣдить за движеніями кружка. Я заставляю теперь его повернуться на 180°; т.-е. такъ, чтобы бумажный указатель былъ направленъ на точку, прямо противоположную той, на которую онъ направленъ, когда кружокъ находится въ покоѣ. Теперь я быстро удаляю магнитъ и такимъ образомъ предоставляю кружокъ самому себѣ. Онъ тотчасъ же начинаетъ медленно колебаться то въ одну, то въ другую сторону. Но колебанія вскорѣ начинаютъ дѣлаться все меньше и меньше; они оказываются сильно затухающими. Происходитъ это отъ того, что подъ колеблющемся слюдянымъ кружкомъ, на разстояніи, приблизительно, только 1 миллиметра отъ него, находится плоскій латунный столикъ. Внутреннее треніе тонкаго воздушнаго слоя между латунной пластинкой и слюдянымъ кружкомъ задерживаетъ мало-по-малу дви-

женіе. Если мы сосчитаемъ число колебаній, то найдемъ, что слюдяной кружокъ, повернувшись 12 разъ въ ту и другую сторону, почти совершенно успокоится. Такъ будетъ въ томъ случаѣ, когда пространство подъ колоколомъ воздушнаго насоса наполнено обыкновеннымъ воздухомъ при атмосферномъ давленіи. Будемъ теперь выкачивать изъ этого пространства воздухъ. Мы не можемъ, правда, совершенно удалить оттуда воздухъ, но мы имѣемъ возможность, все-таки, разрѣдить его по крайней мѣрѣ больше чѣмъ въ 100 разъ. Слѣдовало бы предположить, что въ столь сильно разрѣженномъ воздухѣ внутреннее треніе должно быть до крайности малымъ. Но если мы теперь снова повторимъ предыдущій опытъ, то увидимъ, что колебанія и здѣсь затухаютъ точь-въ-точь такъ, какъ въ воздухѣ при атмосферномъ давленіи. Именно: совершивши 12 колебаній, кружокъ почти совершенно успокоится [1]). Когда Максвеллъ сдѣлалъ, на основаніи своей теоріи, такое странное заключеніе, онъ счелъ его мало вѣроятнымъ и не успокоился до тѣхъ поръ, пока не произвелъ его экспериментальную провѣрку. Но онъ нашелъ при этомъ, какъ и мы только-что нашли, что заключеніе это совершенно правильно.

Я покажу вамъ еще одинъ опытъ, чтобы подтвердить другой замѣчательный выводъ теоріи, именно: зависимость внутренняго тренія отъ температуры.

Въ то время какъ всѣ жидкости безъ исключенія при повышеніи температуры становятся значительно болѣе легкоподвижными, какъ это всякій знаетъ по опыту, въ газахъ наблюдается прямо противоположное явленіе. Максвеллъ теоретически показалъ, что въ газахъ вну-

---

[1]) Описанный опытъ испорченъ присутствіемъ *намагниченной* иглы: при ея колебаніи въ латунной пластинкѣ должны возникать т. наз. токи Фуко, также сильно задерживающіе колебанія. Но отъ этого недостатка легко избавиться, безъ всякаго вліянія на окончательпый результатъ опыта. *Ред.*

треннее тренiе возрастаетъ съ увеличенiемъ температуры приблизительно пропорцiонально квадратному корню изъ абсолютной температуры. Измѣренiя въ достаточной степени подтвердили это; при этомъ оказалось, что внутреннее тренiе растетъ нѣсколько быстрѣй, чѣмъ оно должно было бы расти по упрощенной теорiи. Если я буду прогонять воздухъ черезъ капиллярную трубку, служившую намъ для предшествующаго опыта, и при этомъ нагрѣю одну половину ея, то вы увидите, что по истеченiи довольно короткаго времени верхушки столбовъ жидкости трехъ манометровъ не будутъ болѣе лежать на одной прямой, отмѣченной черной ниткой,

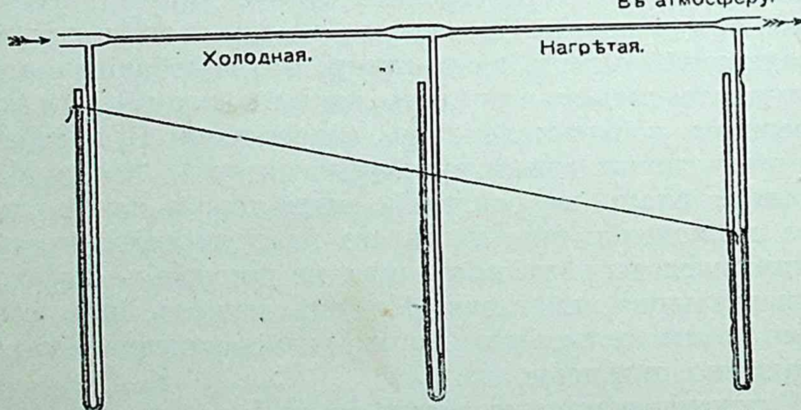


Рис. 12. Зависимость тренiя воздуха отъ температуры.

а расположатся по ломаной линiи (рис. 12). Избытокъ давленiя, который гонитъ воздухъ черезъ нагрѣтую часть капилляра, много больше того, который гонитъ воздухъ черезъ холодную. Слѣдовательно, внутреннее тренiе въ нагрѣтой части трубки дѣйствительно больше, чѣмъ въ холодной.

Нужно, впрочемъ, сказать, что давленiе въ нагрѣтой части выростаетъ не только вслѣдствiе увеличенiя коэффицiента внутренняго тренiя, но также и вслѣдствiе увеличенiя скорости струи воздуха. Дѣйствительно, такъ какъ воздухъ въ нагрѣтой части трубки обладаетъ мень-

шей плотностью, чѣмъ въ холодной, а количество протекающаго воздуха должно быть одинаково въ обѣихъ частяхъ, то въ нагрѣтой части потокъ имѣетъ большую скорость.

Для многихъ газовъ внутреннее треніе смѣрено, и по его величинѣ приближенно вычислена средняя длина пути молекулы. Она имѣетъ, при 20° С. и 760 мм. давленія, слѣдующія значенія:

Кислородъ	105,9 $\mu\mu$
Азотъ	98,6 $\mu\mu$
Углекислота	68,0 $\mu\mu$
Хлоръ	47,4 $\mu\mu$
Водородъ	185,5 $\mu\mu$

Эти величины субмикроскопически малы. Однако по сравненію съ размѣрами молекулъ, которыя, во всякомъ случаѣ, меньше 1 $\mu\mu$,—онѣ еще очень велики.

Размѣры и число молекулъ.

На основаніи приведенныхъ чиселъ можно сдѣлать заключеніе о размѣрахъ молекулъ. Въ самомъ дѣлѣ, очевидно, что длина пути должна быть тѣмъ меньше, чѣмъ больше будетъ поперечное сѣченіе молекулы. И теорія учитъ, соотвѣтственно этому, что, зная длину пути, можно вычислить сумму поперечныхъ сѣченій всѣхъ молекулъ, заключенныхъ въ 1 кубическомъ сантиметрѣ, т.-е. величину Nq, гдѣ N есть число молекулъ, а q поперечное сѣченіе одной молекулы. Но, съ другой стороны, можно приблизительно найти сумму всѣхъ объемовъ NV. Именно, если достаточно сильнымъ охлажденіемъ обратить газъ въ жидкое или твердое состояніе, что, какъ извѣстно, въ настоящее время можно сдѣлать со всѣми газами, то опытъ показываетъ, что молекулы при этомъ настолько тѣсно сближаются, что дальнѣйшее сжатіе возможно только въ очень небольшихъ предѣлахъ. Если принять, что молекулы приблизительно шарообразны, то при тѣсномъ сближеніи между ними

остаются промежутки, которые въ суммѣ приблизительно равны объему, занимаемому молекулами. Объемъ жидкости, въ которую сгущается 1 кубическій сантиметръ газа, слѣдовательно, приблизительно равенъ 2 NV. Раздѣливши другъ на друга найденныя такимъ образомъ значенія NV и Nq, мы получимъ величину діаметра молекулы, предполагая, что молекулы имѣютъ шарообразную форму. Для воздуха выходитъ, приблизительно, 0,4 $\mu\mu$, подобныя же величины получаются и для другихъ тѣлъ. Это значеніе очень сходно съ тѣмъ, которое мы получили для толщины жидкой пленки, при которой нарушается связь между частицами. Зная діаметръ молекулы, можно вычислить поперечное сѣченіе и объемъ ея, а затѣмъ, естественно, и число молекулъ N, заключающееся въ 1 куб. сантиметрѣ газа при 0^0 С. и 760 мм. давленія. Это число N мы называемъ *Лошмидтовымъ*, въ память о человѣкѣ, которому принадлежатъ большія заслуги въ дѣлѣ опредѣленія молекулярныхъ размѣровъ, и который впервые вычислилъ это число. Только что описанные методы приблизительно даютъ—если остановиться на наиболѣе вѣроятныхъ числахъ—$N=20 \cdot 10^{18}$ (20 трилліоновъ).

Впрочемъ, быть можетъ, число молекулъ составляетъ только половину этого, быть можетъ, оно и вдвое больше его. Это нисколько не мѣняетъ сути дѣла: порядокъ величины этого непонятно большого числа не уменьшается. Отношеніе объема, занятаго молекулами, ко всему объему газа, т.-е. N · V, для воздуха приблизительно равно $^1/_{1400}$. Кубическій метръ воздуха даетъ, слѣдовательно, полтора литра жидкаго воздуха. Для другихъ газовъ получается совершенно подобное число. Если мы будемъ выкачивать, насколько возможно, воздухъ изъ стекляннаго сосуда, какъ это необходимо, напримѣръ, для Рентгеновскихъ трубокъ, то высшей степени разрѣженія мы достигнемъ тогда, когда упругость воздуха станетъ равной приблизительно $^1/_{1000}$ миллиметра ртутнаго столба; или, иными словами, въ круг-

лыхъ числахъ, милліонной части атмосферы. Такъ какъ q и N пропорціональны, то соотвѣтственно уменьшится и число молекулъ. Но все-таки ихъ будетъ еще $20 \cdot 10^{12}$ (20 билліоновъ) въ каждомъ кубическомъ сантиметрѣ. Но при этихъ условіяхъ объемъ, занятый молекулами, будетъ уже исчезающе малымъ по сравненію съ пространствомъ, въ которомъ онѣ движутся. Поэтому, несмотря на большое число молекулъ, у насъ будутъ извѣстныя основанія говорить о пустомъ пространствѣ. Въ самомъ дѣлѣ: если 1 куб. метръ газа при такомъ разрѣженіи обратить, путемъ охлажденія, въ жидкость, то получится 1 кубич. миллиметръ. Путь молекулы при столь сильномъ разрѣженіи измѣряется уже многими сантиметрами; это—поистинѣ безконечно длинный путь для ничтожно малой молекулы.

Если мы примемъ число $N=20 \cdot 10^{18}$, то намъ нетрудно будетъ также вычислить, сколько молекулъ заключается въ 1 кубич. сантиметрѣ воды: намъ вѣдь извѣстно какой объемъ занимаетъ такое количество воды въ газообразномъ состояніи (т.-е. будучи обращено въ паръ). Оказывается, что это число равно $25{,}000 \cdot 10^{18}$. Слѣдовательно, если бы мы раздѣлили 1 кубич. сантиметръ воды на такое число маленькихъ кубиковъ, то въ каждомъ изъ нихъ заключалось бы какъ разъ по одной молекулѣ. Ребро каждаго такого кубика составляло бы около 0,3 $\mu\mu$.

Наименьшая толщина жидкой пленки, при которой она является еще, до извѣстной степени, связнымъ цѣлымъ, есть, поэтому, толщина одного только слоя молекулъ.

Чтобы получить болѣе наглядное представленіе о размѣрахъ молекулъ, вообразимъ небольшое яблоко. Тогда размѣры молекулы и этого яблока будутъ находиться между собой приблизительно въ такомъ же отношеніи, въ какомъ находятся величины того же яблока и земного шара. Представимъ себѣ, что яблоко увеличивается до размѣровъ земного шара, тогда каждая молекула должна возрасти до первоначальной величины яблока.

Броуновское молекулярное движеніе.

Когда въ водѣ взмучена тонкая пыль, напр., толченый мѣлъ или глина, то эта муть опускается на дно очень медленно даже тогда, когда вода находится въ полномъ покоѣ. Чѣмъ меньше частицы, тѣмъ медленнѣе происходитъ осѣданіе, потому что сопротивленіе, которое испытываетъ частица, передвигаясь въ водѣ, по отношенію къ вѣсу ея, тѣмъ больше, чѣмъ меньше частица. Очень тонкія «суспензіи», какъ, напр., молоко или мыльный растворъ, постоянно остаются мутными, такъ какъ опусканіе частицъ тутъ происходитъ до крайности медленно. Такъ называемые коллоидальные растворы металловъ также являются прекрасными примѣрами подобныхъ очень тонкихъ суспензій. Если къ очень разведенному раствору какой-либо соли золота или серебра прилить слабо-возстановляющее вещество, то благородный металлъ выдѣлится въ видѣ очень мелкихъ частицъ, которыя настолько малы, что онѣ невидимы въ обыкновенные микроскопы. Мельчайшія металлическія частицы наполняютъ воду достаточно густо и сообщаютъ ей великолѣпную интенсивную окраску.

Подобную суспензію называютъ коллоидальнымъ растворомъ металла. Что окраска воды дѣйствительно обусловлена присутствіемъ тамъ большого числа мельчайшихъ, ультрамикроскопическихъ частицъ, въ этомъ можно убѣдиться благодаря особому методу, открытому въ 1903 году Зидентопфомъ и Жигмонди. Методъ этотъ состоитъ въ томъ, что, разсматривая растворъ въ микроскопъ, освѣщаютъ его (т.-е. растворъ) съ боку такимъ образомъ, чтобы свѣтовой конусъ проходилъ какъ разъ подъ микроскопомъ, но чтобы при этомъ ни одинъ лучъ не попадалъ непосредственно въ объективъ. Тогда, вслѣдствіе отраженія свѣта, частицы блестятъ на темномъ фонѣ, какъ яркія звѣзды. При этомъ можно замѣтить, что эти звѣздочки никогда не находятся въ покоѣ, даже и тогда, когда принимаютъ всѣ мѣры, что-

бы въ жидкости, находящейся въ кюветкѣ подъ микроскопомъ, не было ни малѣйшихъ потоковъ. Явленіе, которое тутъ наблюдается, можно описать, какъ безпорядочную толкотню свѣтящихся точекъ, которыя быстро и оживленно снуютъ другъ мимо друга. Это движеніе бываетъ тѣмъ оживленнѣе, чѣмъ мельче и легче частицы. Однако его можно наблюдать и у достаточно большихъ частицъ, которыя ясно видны даже въ обыкновенный микроскопъ въ проходящемъ свѣтѣ. У такихъ большихъ частицъ и было впервые наблюдено это явленіе при помощи обыкновеннаго микроскопа ботаникомъ *Броуномъ* въ 1827 г. По имени этого ученаго и самое явленіе называется *броуновскимъ движеніемъ*.

Въ теченіе многихъ лѣтъ тщетно пытались разгадать причину этихъ странныхъ движеній, которыя имѣютъ одинаковый характеръ у самыхъ разнообразныхъ суспензій. Всѣ попытки объясненія этого явленія оказывались неудачными. Только одно объясненіе теперь можетъ считаться подходящимъ. Оно состоитъ въ томъ, что въ основѣ броуновскаго движенія лежитъ безпорядочное движеніе мельчайшихъ частичекъ матеріи (воды). Молекулы воды сообщаютъ толчки взвѣшеннымъ частицамъ самымъ безпорядочнымъ образомъ. Поэтому результирующая сила толчка бываетъ направлена то въ одну, то въ другую сторону, чѣмъ и обусловливается наблюдающееся неправильное движеніе частицы. Можно показать теоретически, что среднее значеніе скоростей «толкущейся» туда и сюда частицы и газовой молекулы той же массы, при господствующей температурѣ, имѣетъ одну и ту же величину. Слѣдовательно, если M есть масса частицы, V—ея скорость (постоянно измѣняющаяся), то среднее значеніе величины MV^2, должно имѣть характерное для данной температуры значеніе (см. стр. 51). Это объясненіе совершенно оправдываетъ обычное названіе разсматриваемаго явленія: «Броуновское молекулярное движеніе».

На рисункѣ 13 мы видимъ зарисованный въ увеличен-

номъ масштабѣ путь частицы, находящейся въ броуновскомъ молекулярномъ движеніи. Рисунокъ изображаетъ этотъ путь такъ, какъ онъ недавно былъ экспериментально изслѣдованъ Жаномъ Перреномъ у шариковъ смолы (мастики), взвѣшенныхъ въ водѣ. Круглыя точки изображаютъ положенія зернышекъ черезъ промежутки времени въ 30 секундъ. Два слѣдующихъ другъ за другомъ положенія просто соединены прямой линіей.

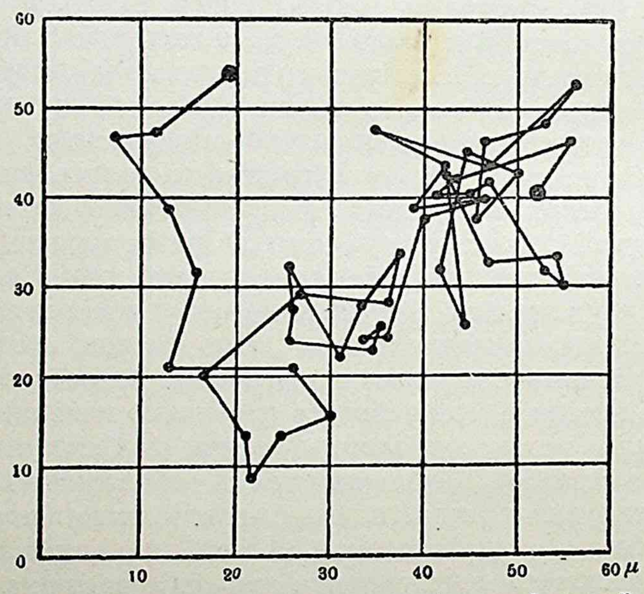


Рис. 13. Броуновское молекулярное движеніе подвѣшенной въ водѣ частицы (по Ж. Перрену).

Само собою разумѣется, что въ дѣйствительности движеніе значительно сложнѣй. Если, напримѣръ, производить наблюденія черезъ каждую секунду и соотвѣтствующимъ образомъ выполнить чертежъ, то всѣ прямыя линіи нашего рис. 13 замѣнятся чрезвычайно сложными кривыми, каждая изъ которыхъ будетъ состоять изъ 30 отрѣзковъ прямой. Но и эти прямыя при болѣе подробномъ изслѣдованіи окажутся до крайности запутанными зигзагообразными кривыми. Поэтому ясно,

что истинная скорость частицы въ каждый моментъ на ея траекторіи, все еще очень сложной даже и въ мельчайшихъ элементарныхъ отрѣзкахъ, безконечно больше той скорости, съ которой она въ дѣйствительности передвигается впередъ за промежутокъ времени, измѣряемый секундами. Мы уже видѣли выше, что скорости диффузій газовыхъ частицъ въ удаленныя мѣста очень мала по сравненію съ ихъ колоссальной скоростью въ каждый моментъ (стр. 53). Слѣдовательно, среднее значеніе молекулярной скорости для взвѣшенной частицы нельзя опредѣлять прямо изъ измѣреній.

Однако косвенный пріемъ приводитъ къ желаемой цѣли. Передвиженіе частицы впередъ въ теченіе продолжительнаго времени тѣмъ больше, чѣмъ больше ея «молекулярное движеніе», и А. Эйнштейну удалось, благодаря глубокимъ теоретическимъ изслѣдованіямъ, найти формулу, которая связываетъ обѣ эти величины. Въ эту формулу входятъ только такіе факторы, которые могутъ быть экспериментально опредѣлены для частицъ большихъ размѣровъ, напр., удѣльный вѣсъ и діаметръ частицы, а также коэффиціентъ тренія воды. Жанъ Перренъ нашелъ цѣлымъ рядомъ измѣреній, что формула Эйнштейна хорошо подтверждается, и поэтому изъ его измѣреній можно вычислить значеніе v для употреблявшихся смоляныхъ шариковъ. Если мы теперь обозначимъ черезъ m_0 и v_0 массу и скорость молекулы водорода при той же температурѣ, то получимъ

$$Mv^2 = m_0 v_0{}^2$$

Слѣдовательно:

$$m_0 = M \frac{v^2}{v_0{}^2}$$

Но M и v, какъ мы видѣли, можно опредѣлить экспериментально. Для употреблявшихся Перреномъ шариковъ получаются слѣдующія величины: M равняется приблизительно 0,63 билліонныхъ грамма, а v—приблизительно 4 мм./сек. Далѣе, какъ мы видѣли выше, v_0

извѣстно; для водорода при комнатной температурѣ оно составляетъ 1900 метр./сек. Поэтому можно вычислить на основаніи измѣреній Перрена вѣсъ отдѣльной молекулы водорода. Цѣлымъ рядомъ аккуратныхъ измѣреній Перренъ нашелъ $m_0 = 2{,}8 \cdot 10^{-24}$ gr. Но такъ какъ 1 куб. см. водорода вѣситъ, при 0^0 С и 760 mm давленія, $8{,}985 \cdot 10^{-5}$, то раздѣливши это число на только что найденное значеніе m_0, получимъ число молекулъ, т.-е. Лошмидтово число. Такимъ образомъ получается: *N=32 трилліона*.

Чрезвычайно интересно то, что Перренъ могъ опредѣлить со своими смоляными суспензіями Лошмидтово число еще другимъ, совершенно независимымъ методомъ. Хотя частицы мутной жидкости очень медленно опускаются внизъ, тѣмъ не менѣе, часто можно наблюдать, что если оставить ее въ покоѣ, то въ теченіе нѣсколькихъ часовъ или нѣсколькихъ дней слой въ нѣсколько миллиметровъ становится прозрачнымъ. Поэтому коллоидальные растворы металловъ, частицы которыхъ не особенно мелки, точно также какъ и тѣ смоляныя суспензіи, съ которыми работалъ Перренъ, обезцвѣчиваются съ поверхности. Казалось бы, что очень тонкій слой жидкости такимъ образомъ долженъ стать, въ концѣ-концовъ, совершенно прозрачнымъ, такъ какъ всѣ частицы упадутъ на дно. Между тѣмъ Перренъ нашелъ, что этого никогда не бываетъ. Онъ помѣстилъ смоляную суспензію въ стеклянную камеру, которую врачи употребляютъ для счета кровяныхъ тѣлецъ, и которая имѣетъ въ вышину приблизительно $^1/_{10}$ mm., и разсматривалъ ее въ сильно увеличивающій микроскопъ. Такъ какъ сильный объективъ имѣетъ небольшое поле зрѣнія въ вертикальномъ направленіи, то при опредѣленной установкѣ онъ могъ видѣть смоляные шарики только опредѣленнаго уровня, въ слоѣ, быть можетъ, въ 1 μ толщины. Поднимая и опуская микроскопъ, онъ могъ устанавливать его на всевозможные уровни. Естественно, что тотчасъ вслѣдъ за наполненіемъ онъ находилъ по-

всюду приблизительно одинаковыя числа частицъ. Но вскорѣ нижніе слои стали мало-по-малу обогащаться, а верхніе—бѣднѣть частицами. По истеченіи нѣсколькихъ часовъ наступило опредѣленное конечное состояніе. Число частицъ въ самомъ верхнемъ слоѣ составляло, напримѣръ, въ опредѣленной суспензіи десятую часть числа частицъ въ слоѣ, непосредственно прилегающемъ ко дну. Въ промежуточныхъ слояхъ величина концентраціи постепенно, совершенно закономѣрнымъ образомъ переходила отъ малыхъ значеній къ большимъ.

Это закономѣрное конечное состояніе остается совершенно постояннымъ не только въ теченіе часовъ, но въ теченіе дней и недѣль, сколько бы времени ни производилось наблюденіе. Не можетъ быть даже и рѣчи о томъ, чтобы частицы совсѣмъ опустились ко дну. Въ этомъ отношеніи суспензія ведетъ себя точь-въ-точь какъ газъ, напр., какъ воздушная оболочка нашей земли. Сила тяжести удерживаетъ, конечно, эту оболочку у земли; тѣмъ не менѣе она не осѣдаетъ на поверхность земли, но распредѣляется такимъ образомъ, что плотность ея въ вертикальномъ направленіи мало-по-малу равномѣрно уменьшается. Въ обоихъ этихъ случаяхъ причиной наблюдающихся явленій служитъ безпорядочное молекулярное движеніе, вслѣдствіе котораго частицы снова возвращаются въ верхніе слои, передвигаясь въ направленіи, противоположномъ направленію силы тяжести. Количественная разница между газомъ и смоляной суспензіей, конечно, чрезвычайно велика: въ то время какъ въ суспензіи уже при разницѣ уровней приблизительно въ $^1/_{10}$ mm. концентрація мѣняется въ 10 разъ, въ атмосферномъ воздухѣ такое же измѣненіе плотности при средней температурѣ 0° C. наступаетъ только при разницѣ уровней, равной 18,4 километровъ. Это объясняется, конечно, большой разницей въ вѣсѣ между молекулами воздуха и смоляными шариками. Теорія показываетъ, что разность уровней въ двухъ различныхъ газахъ, находящихся въ одной и той же сте-

пени разрѣженія, относятся какъ вѣса молекулъ. Такимъ образомъ Перренъ могъ опредѣлить вѣсъ смоляной частицы; онъ составлялъ въ одномъ опредѣленномъ случаѣ, напр., $0{,}82 \cdot 10^{-14}$ gr. (конечно, за вычетомъ потери вѣса въ водѣ). Разность уровней, которая соотвѣтствовала въ этомъ случаѣ разрѣженію до $^1/_{10}$, составляла 0,094 mm. Мы имѣемъ теперь всѣ числа, необходимыя для вычисленія вѣса молекулы воздуха:

$$m = 0{,}82 . 10^{-14} \cdot \frac{0{,}004}{1{,}84 . 10^6}$$

Откуда получается $m = 0{,}42 \cdot 10^{-22}$ gr. Естественно, что это есть среднее значеніе, потому что воздухъ является смѣсью многихъ газовъ. Но это есть точная величина этого средняго значенія для молекулъ, образующихъ воздухъ, если только допустить, что точны всѣ числа, найденныя измѣреніями. Такъ какъ 1 куб. сантиметръ воздуха при 0^0 С. и 760 mm. давленія вѣситъ 0,00129 gr., то, раздѣливши этотъ вѣсъ на только что найденное значеніе m, мы найдемъ число молекулъ (Лошмидтово число) N=31 трилліону. Какъ видите, оба числа, найденныя совершенно различными путями, хорошо совпадаютъ между собой. Я долженъ тутъ замѣтить, что Перренъ произвелъ большое число опытовъ, употребляя частицы разнообразнѣйшихъ діаметровъ (отъ $^1/_4$ μ до 12 μ). И всѣ эти опыты давали совершенно сходные между собой результаты. Поэтому мы можемъ съ достаточной увѣренностью сказать, что величина Лошмидтова числа должна лежать гдѣ-нибудь недалеко отъ 30 трилліоновъ.

Растворы.

Растворъ соли въ водѣ (или въ какой-нибудь иной жидкости) есть не что иное, какъ до крайности тонкая супсензія, въ которой взвѣшенными частицами являются сами молекулы раствореннаго тѣла. Поэтому растворенное тѣло подобно газу въ жидкости, какъ если бы

соль, благодаря силамъ химическаго взаимодѣйствія съ жидкостью, испарилась въ нее. Между жидкостью и молекулами раствореннаго тѣла существуютъ, конечно, силы сцѣпленія, которыя препятствуютъ тому, чтобы растворенное вещество вышло изъ раствора. Но такъ какъ молекулы самого этого вещества теперь раздѣлены большими промежутками, то силы взаимодѣйствія, прежде связывавшія ихъ, уничтожаются. Молекулы становятся независимыми другъ отъ друга, какъ молекулы газа. Само собой разумѣется, что, подобно частицамъ какой-либо суспензіи, молекулы раствореннаго тѣла находятся въ постоянномъ безпорядочномъ движеніи, и поэтому онѣ стремятся распространиться по всему объему жидкости. Это можно легко демонстрировать, положивши на дно цилиндра, наполненнаго водой, ту или иную окрашенную соль, напр., двухромокислый калій, вещество интенсивнаго, красновато-коричневаго цвѣта. Соль растворяется, и теперь можно наблюдать, какъ окраска мало-по-малу распространяется въ водѣ вверхъ, хотя молекулы соли тяжелѣй молекулъ воды. Аналогичное явленіе мы уже наблюдали въ случаѣ диффузіи газообразнаго брома въ воздухѣ. Конечно, распространеніе молекулъ въ водѣ происходитъ значительно медленнѣй, потому что ихъ поступательное движеніе въ водѣ сильно затруднено. Здѣсь происходитъ какъ разъ такое явленіе, какое наблюдается, когда газъ стремится распространиться въ какомъ-нибудь мелко-пористомъ тѣлѣ, напр., въ обожженой глинѣ. Въ этомъ случаѣ частицы глины, сильно уменьшая длину свободнаго пути молекулъ, очень задерживаютъ ихъ распространеніе. Конечно, разности плотностей выравниваются и черезъ глину, но только, сравнительно, очень медленно.

Мы можемъ легко произвести для растворовъ одно маленькое вычисленіе, которое ведетъ къ приблизительному опредѣленію Лошмидтова числа. Если разсматривать растворенное тѣло какъ газъ, (что, какъ показали экспериментальныя изслѣдованія, является дѣйствитель-

но допустимымъ), то можно, на основаніи газовыхъ законовъ, разсчитать силу, съ которой растворенное тѣло стремится распространиться, такимъ же самымъ образомъ, какъ это дѣлается для газовъ. Точно такъ же, какъ и въ случаѣ газа, у растворовъ величину, характеризующую эту способность, обозначаютъ словомъ «давленіе», и именно здѣсь говорятъ спеціально объ «осмотическомъ давленіи». Если въ различныхъ мѣстахъ раствора осмотическія давленія имѣютъ разную величину, то они стремятся выравняться, и можно, точно такъ же, какъ въ газахъ, найти силу, съ которой это происходитъ. Этой силѣ противодѣйствуетъ въ жидкости треніе, которое испытываютъ частицы при диффузіи. Слѣдовательно, скорость диффузіи регулируется равновѣсіемъ между треніемъ и разницей осмотическаго давленія на данномъ промежуткѣ. Треніе же будетъ тѣмъ больше, чѣмъ больше скорость диффузіи, и чѣмъ мельче раздроблено вещество растворённаго тѣла. Вслѣдствіе этого, по скорости диффузіи, которая наблюдается при опредѣленномъ паденіи концентраціи, можно сдѣлать заключеніе о степени раздробленія матеріи, т.-е. о величинѣ Лошмидтова числа. Для этого надо знать коэфиціентъ диффузіи и удѣльный вѣсъ растворенныхъ частицъ; обѣ эти величины должны быть опредѣлены экспериментально. Для сахара, напримѣръ, онѣ извѣстны. Если сдѣлать вычисленія, принимая во вниманіе ихъ значеніе, то получится N=50 трилліоновъ. Но это число навѣрное не точно. При вычисленіи его были сдѣланы два упрощающихъ допущенія, которыя не совсѣмъ соотвѣтствуютъ дѣйствительности. Эти допущенія слѣдующія: во-первыхъ, что молекулы сахара подобны мячикамъ, и что треніе ихъ въ водѣ вычисляется по формулѣ, относящейся къ случаю шара, размѣры котораго велики по сравненію съ молекулами воды; во-вторыхъ, что молекулы растворённаго сахара имѣютъ ту же величину, какъ и молекулы сахара твердаго, которыя тоже считаютъ шарообразными. Второе допущеніе,

по всей вѣроятности, неправильно, такъ какъ молекулы растворенного тѣла, повидимому, соединяются съ нѣкоторыми молекулами воды въ большій клубокъ, и потому поперечникъ взвѣшенной частички сахара имѣетъ бòльшую величину, чѣмъ та, которая была при вычисленіи подставлена въ формулу. Значитъ, треніе отдѣльной частички больше того, которое было принято при вычисленіи. Поэтому, чтобы получить ту величину тренія, которая въ дѣйствительности наблюдается при диффузіи, нужно было принять, что матерія раздроблена на болѣе мелкія молекулы, чѣмъ это есть на самомъ дѣлѣ. Другими словами, вычисленное число N слишкомъ велико. И вотъ въ 1906 году А. Эйнштейнъ, чрезвычайно остроумнымъ методомъ, попытался опредѣлить, на основаніи нѣкоторыхъ экспериментальныхъ данныхъ относительно растворовъ сахара, объемъ растворенной молекулы. И дѣйствительно, найденное имъ значеніе нѣсколько больше того, которое положено въ основу вышеупомянутаго вычисленія. По расчету Эйнштейна, N=29,4 трилліоновъ [1]).

---

3. Можно ли видѣть отдѣльныя молекулы?

Внѣшній видъ матеріи всегда заставляетъ насъ сомнѣваться въ ея зернистомъ строеніи. Что песчаникъ является зернистымъ,—это мы замѣчаемъ сразу, т. к. мы можемъ непосредственно различить составляющія его песчинки. Но равнымъ образомъ мы не сомнѣваемся и въ томъ, что глина и кирпичъ состоятъ изъ множества скрѣплённыхъ между собой маленькихъ частицъ. Хотя

---

[1]) Въ своей первой работѣ Эйнштейнъ далъ числу N значеніе 19 трилліоновъ. Но позже онъ выяснилъ, что въ его формулы вкралась маленькая погрѣшность. По устраненіи ея было получено вышеприведенное число.

мы тутъ уже не можемъ видѣть отдѣльныхъ зернышекъ, но, тѣмъ не менѣе, диффузное разсѣяніе свѣта ими непосредственно обнаруживаетъ ихъ существованіе. Но неужели прозрачный кусокъ стекла не есть кусокъ цѣльной, сплошной матеріи?

Это сомнѣніе покоится, прежде всего, на ошибочномъ обобщеніи часто наблюдающихся явленій. Въ самомъ дѣлѣ, совершенно неправильно думать, что тѣ законы отраженія и преломленія свѣта, которые справедливы для сравнительно большихъ песчинокъ и зернышекъ глины, имѣютъ мѣсто и для такихъ чрезвычайно маленькихъ тѣлецъ, какими должны быть молекулы.

Диффракція свѣта.

Я покажу вамъ на примѣрѣ тѣни, отбрасываемой очень маленькими частицами и частицами большей величины, что дѣйствительно законы преломленія и отраженія свѣта для нихъ различны. Но, чтобы получить явленіе, замѣтное издали, я не вношу въ полосу свѣта маленькое непрозрачное тѣло, но снабжаю большое непрозрачное тѣло очень маленькимъ отверстіемъ. Принципіально это сводится къ тому же самому. Я покажу вамъ тѣнь отъ раздвижной щели, образованной двумя латунными лезвіями. Но если я хочу получить дѣйствительно рѣзкую тѣнь, я не могу пользоваться электрической дуговой лампой. Ибо широкія поверхности накаленныхъ до-бѣла углей, само собою разумѣется, не могутъ дать на большомъ разстояніи рѣзкой картины очень маленькихъ отверстій. Точно такъ же солнце и луна хотя и даютъ тѣни, но такія, очертанія которыхъ тоже расплывчаты, и у которыхъ можно различить всѣ переходы отъ тѣни въ полутѣнь. Явленіе это обусловлено извѣстной протяженностью источника свѣта. Поэтому вы видите, что, когда я освѣщаю щель свѣтомъ дуговой лампы, то края тѣни не рѣзки. Но я могу легко избѣжать этого, если возьму источникъ свѣта, имѣющій, по срав-

ненію съ употребляющимися разстояніями, размѣры точки или, какъ въ данномъ случаѣ,—размѣры линіи. Я покрываю отверстіе лампы металлическимъ колпакомъ, пропускающимъ свѣтъ только черезъ очень тонкую щель. Эта щель служитъ теперь свѣтящейся линіей, и можно видѣть, что края тѣни дѣйствительно рѣзко обозначены, сейчасъ, когда ширина щели составляетъ 1 mm. Я сдвигаю теперь обѣ латунныя полосы, образующія щель. Вскорѣ начинаютъ проявляться чрезвычайно замѣчательныя явленія. Прежде всего внутри изображенія щели показывается, какъ видимъ, множество темныхъ полосъ. Эти полосы такъ слабы, что ихъ можно разглядѣть только на очень близкомъ разстояніи. Если сдѣлать щель еще уже, то онѣ исчезнутъ; тогда изображеніе щели будетъ казаться свѣтлымъ въ серединѣ, а по мѣрѣ приближенія къ краямъ оно будетъ становиться сѣрымъ; границы изображенія будутъ размыты. Въ то же время, въ темной тѣни, отбрасываемой латунными лезвіями, появятся свѣтлыя окрашенныя полосы, расположенныя сперва очень близко другъ къ другу, но, по мѣрѣ суженія щели, расходящіяся все дальше и дальше. Если я, въ концѣ-концовъ, стану уменьшать ширину щели до нѣсколькихъ микроновъ, то свѣтлыя полосы будутъ распространяться все дальше, постепенно отступая, и въ то же время границы самого изображенія будутъ раздвигаться. Мы имѣемъ здѣсь странное явленіе, состоящее въ томъ, что въ то время, какъ щель въ дѣйствительности становится все уже, ея тѣневое изображеніе все болѣе и болѣе расширяется. Наконецъ, вы видите на экранѣ уже совсѣмъ широкое слабое диффузное свѣченіе. Мы видимъ отсюда, что для очень маленькихъ отверстій обычныя представленія о свѣтовыхъ лучахъ и ихъ прямолинейномъ распространеніи въ пространствѣ больше уже не правильны. Свѣтъ по краямъ узкой щели будетъ, какъ говорятъ, диффрагированъ. Это возможно только потому, что свѣтъ, какъ мы знаемъ, является особымъ родомъ волнъ. Именно,

когда волны, какого бы то ни было рода, встрѣчаютъ тѣло, которое препятствуетъ ихъ дальнѣйшему распространенію, но которое имѣетъ маленькое отверстіе, проницаемое для нихъ, то по другую сторону этого отверстія получаются волны по всѣмъ направленіямъ почти такъ, какъ если бы оно было самостоятельнымъ источникомъ излученія. Это мы и видѣли только что у очень суженной щели. Что явленія должны происходить именно такимъ образомъ, это впервые было показано Гюйгенсомъ. Въ честь его этотъ законъ называется принципомъ Гюйгенса. Но только Кирхгофъ строго математически обосновалъ его, исходя изъ природы волнообразнаго распространенія колебаній. Слѣдовательно то, что мы наблюдали въ случаѣ узкой щели, вовсе не удивительно. Гораздо удивительнѣй то, что мы получаемъ отъ широкой щели рѣзкое тѣневое изображеніе. Тѣмъ не менѣе, и это явленіе станетъ намъ понятнымъ, если мы разсмотримъ такъ называемую рѣшетку, которая состоитъ изъ большого количества очень тонкихъ, въ точности одинаковыхъ щелей, раздѣленныхъ совершенно одинаковыми непрозрачными узкими полосками. Когда свѣтъ падаетъ на рѣшетку, то каждая щель даетъ, какъ мы только что видѣли, широко развернутый пучокъ свѣта. Я помѣщаю теперь передъ нашей свѣтящейся линіей щель въ миллиметръ толщиной, и плотно къ ней прижимаю рѣшетку. Мы имѣемъ, слѣдовательно, широкое четырехугольное отверстіе, заполненное мелкой рѣшеткой. Какъ вы видите, пучки свѣта, соотвѣтствующіе отдѣльнымъ щелямъ рѣшетки, вовсе не соединяются въ одинъ, интенсивность котораго была бы равна суммѣ интенсивностей составляющихъ его пучковъ. Мы видимъ на экранѣ широкую полосу свѣта, раздѣленную на большое число свѣтлыхъ продольныхъ полосъ съ окрашенными краями. Когда я беру однородный красный свѣтъ, помѣщая передъ лампой красное стекло, то мы получаемъ только красныя линіи, раздѣленныя темными промежутками, и находящіяся приблизительно на одина-

ковыхъ разстояніяхъ другъ отъ друга. Средняя полоса является самой яркой, боковыя же становятся все слабѣй и слабѣй. Совершенно такой же видъ имѣетъ свѣтовой пучокъ, выходящій изъ одной только щели, но только теперь онъ періодически пересѣкается широкими темными мѣстами. Если я пропущу свѣтъ черезъ зеленое стекло, то мы получимъ совершенно аналогичную картину. Красное и зеленое стекла, помѣщенныя рядомъ другъ съ другомъ, показываютъ, что въ красномъ свѣтѣ полосы отстоятъ дальше другъ отъ друга, чѣмъ въ зеленомъ. Предъ нами здѣсь, совершенно такъ же, какъ и въ случаѣ ньютоновыхъ колецъ, которыя я вамъ показывалъ на предыдущей лекціи, рѣзко выраженное интерференціональное явленіе. Мы уже раньше видѣли, что свѣтовой лучъ складывается съ другимъ въ лучъ максимальной яркости, когда оба они встрѣчаются, находясь въ одинаковыхъ фазахъ своего періодически измѣняющагося состоянія, какимъ является свѣтъ; что они, наоборотъ, другъ друга тушатъ, когда интерферируютъ, находясь въ противоположныхъ фазахъ, и что между обоими этими крайними случаями существуютъ всевозможныя переходныя ступени. Въ показанномъ сейчасъ опытѣ, въ каждой точкѣ экрана встрѣчаются не два, но, скорѣе, безчисленное множество лучей; именно по одному отъ каждой щели, какъ приблизительно показываетъ рис. 14. Впрочемъ, этотъ рисунокъ лишь очень неточно изображаетъ дѣйствительныя отношенія. Во-

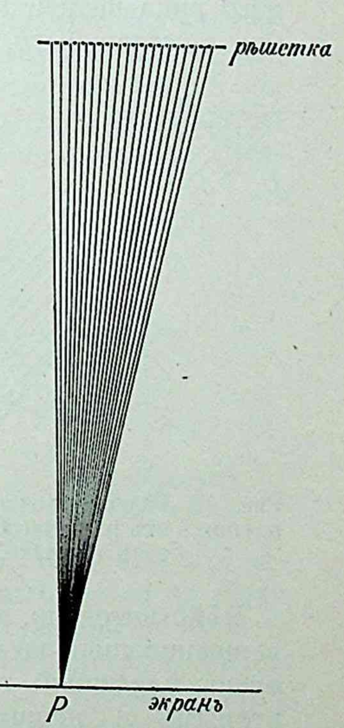


Рис. 14. Лучи, выходящіе изъ рѣшетки и интерферирующіе другъ съ другомъ.

первыхъ, мы должны представить себѣ, что щели рѣшетки несравненно уже и многочисленнѣй: по нѣскольку сотенъ на каждомъ миллиметрѣ. Во-вторыхъ, мы должны вообразить, что точка P удалена значительно больше, а именно на нѣсколько метровъ. Изъ сказаннаго ясно, что всѣ лучи, идущіе къ точкѣ P отъ достаточно многочисленнаго ряда щелей, имѣютъ почти одинаковыя направленія, а, стало быть, также и одинаковыя интенсивности, и что разности хода отдѣльныхъ лучей по сравненію съ лучомъ, выходящимъ изъ первой щели, находятся такъ, какъ показано на рис. 15. Именно: надо провести черезъ точку l, находящуюся на первомъ лучѣ того пучка, который попадаетъ въ мой глазъ, перпендикуляръ къ остальнымъ лучемъ: тогда отрѣзки этихъ лучей между рѣшеткой и перрендикуляромъ будутъ равны разностямъ хода эитхъ лучей и перваго.

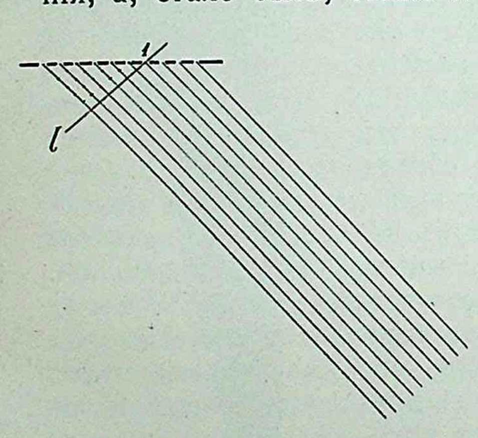


Рис. 15. Разница ходовъ лучей, идущихъ отъ различныхъ элементовъ рѣшетки.

Дѣйствительно, короткій отрѣзокъ линіи l l почти совершенно совпадаетъ съ дугой, проведенной черезъ l изъ очень удаленной точки P. Если разность хода между вторымъ и первымъ лучомъ есть d, то для третьяго луча она будетъ 2d, для четвертаго—3d, и т. д. На рис. 16 изображено, какимъ образомъ интерферируютъ лучи удаленной точкѣ P. Всѣ лучи графически изображены по методу, выясненному впервые на рис. 2. Лучъ 2 отодвинутъ назадъ по отношенію къ лучу 1 на длину d, лучъ 3—на 2d, и т. д. Изъ рис. 16 видно, что, вслѣдствіе этой закономѣрности, опредѣленное, вообще достаточно большое число лучей должно дать лучъ, интенсивность котораго равна нулю. На нашемъ рисункѣ

лучей случайно взято семь. Если мы пойдемъ дальше къ слѣдующему лучу (въ нашемъ примѣрѣ къ восьмому), то очевидно, что и онъ съ извѣстнымъ числомъ лучей, идущихъ подъ рядъ, образуетъ группу, для которой интенсивность результирующаго луча также равна нулю, и т. д. Слѣдовательно, вообще всѣ лучи, исходящіе вкось отъ рѣшетки, тушатъ другъ друга въ удаленной точкѣ, въ которой они соединяются. Не уничтожается, быть можетъ, лишь маленькій остатокъ лучей, которые, какъ показываетъ только что описанный методъ расчета, должны исходить отъ крайнихъ частей рѣшетки. Но этотъ остатокъ исчезающе малъ по срав-

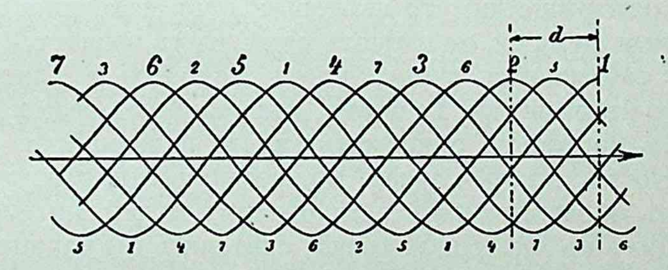


Рис. 16. Графическое представленіе лучей, интерферирующихъ въ точкѣ P.

ненію со всѣмъ количествомъ свѣта, такъ что его нельзя обнаружить ни глазомъ, ни какимъ бы то ни было физическимъ инструментомъ. Это разсужденіе не имѣетъ мѣста только въ двухъ случаяхъ. Во-первыхъ, тогда, когда точка P находится какъ разъ на перпендикулярѣ линіи 1 l, расположенной въ плоскости самой рѣшетки, и вслѣдствіе этого d=0. Тогда большое количество лучей складывается такимъ же самымъ образомъ, какъ два луча на рис. 3а, и даютъ лучъ замѣтной интенсивности. Лучи же, исходящіе изъ нѣсколько болѣе удаленныхъ мѣстъ рѣшетки, тушатъ другъ друга, какъ въ первомъ изъ разсмотрѣнныхъ случаевъ. Слѣдовательно, замѣтной яркостью обладаетъ прямоугольникъ, который мы получимъ, если представимъ себѣ, что прямоуголь-

ное отверстіе, въ которомъ находится рѣшетка, спроектировано на экранъ. Слабый свѣтъ мы имѣемъ еще въ мѣстахъ, расположенныхъ внѣ этого прямоугольника, но очень близко отъ его границъ. Точное изслѣдованіе показываетъ, что переходъ отъ свѣтлаго къ темному, если граница между ними и не является математической линіей, все же происходитъ очень быстро.

При этомъ разсужденіи я, простоты ради, все время разсматривалъ случай, когда свѣтовые лучи, исходящіе изъ отдѣльныхъ щелей рѣшетки, у поверхности ея имѣютъ одинаковыя фазы. Это есть тотъ случай, когда источникъ свѣта имѣетъ форму линіи и настолько удаленъ отъ рѣшетки, что свѣтовые лучи, падающіе на отдѣльныя щели ея, не имѣютъ замѣтныхъ разностей хода. Если свѣтящаяся линія будетъ находиться слишкомъ близко къ рѣшеткѣ, то свѣтъ, падающій на среднія щели, будетъ постоянно опережать свѣтъ, падающій на крайнія. Но въ этомъ случаѣ можно провести разсужденіе такимъ образомъ, какъ если бы пути лучей, интерферирующихъ въ удаленной точкѣ, считались бы начинающимися не отъ рѣшетки g, но отъ окружности, описанной около источника свѣта L и почти совпадающей съ рѣшеткой (рис. 17). Всѣ точки экрана, на которыя падаютъ лучи, перпендикулярные къ элементамъ этой дуги (т.-е. совпадающія съ продолженными радіусами ея), должны

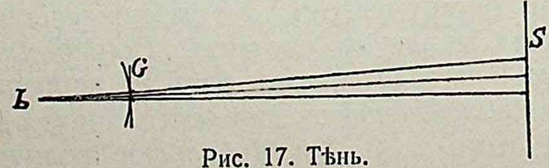


Рис. 17. Тѣнь.

казаться освѣщенными, всѣ остальныя точки экрана— темными. Другими словами: *только то мѣсто, которое лежитъ геометрически точно противъ прямоугольнаго отверстія, заполненнаго рѣшеткой, является яркимъ, и эта яркость представляется рѣзко отограниченной отъ окружающей темноты.*

Но, какъ я уже упомянулъ, слѣдуетъ остановиться и на другомъ случаѣ, въ которомъ лучи, исходящіе изъ отдѣльныхъ щелей рѣшетки, не уничтожаются взаимно. Именно, когда разность хода d двухъ сосѣднихъ лучей какъ разъ равна длинѣ волны (см. рис. 18), тогда всѣ различныя кривыя рис. 16 должны въ точности совпадать. Очевидно, что этотъ случай имѣетъ мѣсто только при опредѣленномъ углѣ наклона лучей къ рѣшеткѣ, и что для этихъ лучей справедливо то самое разсужденіе, которое мы примѣнили къ лучамъ, исходящимъ перпендикулярно къ рѣшеткѣ. Мы получаемъ, поэтому, на экранѣ по обѣимъ сторонамъ отъ истиннаго изображенія щели еще по одному широкому, рѣзко ограниченному изображенію. Точно то же произойдетъ, когда d будетъ равно удвоенной длинѣ волны, и когда оно будетъ равно утроенной длинѣ волны, и т. д.

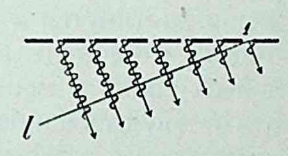


Рис. 18. Объясненіе боковыхъ изображеній щели.

Такимъ образомъ, простыми логическими разсужденіями, основанными на волнообразной теоріи, мы приходимъ къ слѣдующему результату: при очень частомъ повтореніи щели въ равныхъ разстояніяхъ (какъ въ рѣшеткѣ), отъ широкаго слабо освѣщеннаго изображенія, которое даетъ одна щель, остаются только отдѣльныя полосы, раздѣленныя болѣе или менѣе широкими темными промежутками, такъ какъ въ этихъ мѣстахъ лучи, исходящіе отъ отдѣльныхъ щелей, тушатъ другъ друга.

Но это есть какъ разъ то самое, что намъ показалъ опытъ.

Въ то время, какъ среднее изображеніе щели будетъ, очевидно, одно и то же для всѣхъ цвѣтовъ и для всякихъ рѣшетокъ, независимо отъ величины элемента рѣшетки (т.-е. отъ разстоянія между серединами двухъ сосѣднихъ щелей), одинъ только взглядъ на рис. 18 показываетъ, что уголъ, подъ которымъ будутъ проектироваться на экранѣ боковыя изображенія, зависитъ, во-

первыхъ, отъ длины волны и, во-вторыхъ, отъ величины элемента рѣшетки.

При опредѣленной величинѣ этого послѣдняго, уголъ будетъ тѣмъ больше, чѣмъ больше длина волны. Поэтому, если взять бѣлый свѣтъ, то только среднее изображеніе представится бѣлымъ, всѣ же боковыя изображенія растянутся въ «спектры». При этомъ больше всего будетъ отклоненъ красный цвѣтъ, меньше—желтый, зеленый, синій и меньше всего—фіолетовый, которому соотвѣтствуютъ наиболѣе короткія волны. Слѣдуетъ здѣсь мимоходомъ замѣтить, что въ послѣднее время, при помощи такъ наз. дѣлительныхъ машинъ, удалось получить рѣшетки чрезвычайно точныя, въ отношеніи правильности распредѣленія щелей. Въ то же время эта самая дѣлительная машина даетъ возможность очень хорошо опредѣлить величину элемента рѣшетки. А такъ какъ, съ другой стороны, уголъ мы можемъ смѣрить съ высокой степенью точности, то рѣшетка даетъ возможность особенно хорошо опредѣлить длину волны лучей какого-либо цвѣта. И едва ли, вообще, существуютъ другія длины, которыя были бы измѣрены съ большей степенью точности, чѣмъ длины волнъ лучей опредѣленнаго цвѣта. Свидѣтельствомъ этому служитъ то обстоятельство, что въ самое послѣднее время въ основаніе метрической системы положена длина свѣтовой волны. Опредѣляютъ метръ такимъ образомъ, что указываютъ, сколько волнъ лучей опредѣленнаго цвѣта укладывается на протяженіи 1 метра.

Если мы станемъ брать различныя рѣшетки, то боковыя изображенія для одного опредѣленнаго цвѣта будутъ раздвигаться тѣмъ дальше, чѣмъ тѣснѣе расположены щели рѣшетки. Это видно изъ рис. 18. Я продемонстрирую вамъ это, удаливши изъ прямоугольнаго отверстія ту рѣшетку, которой я до сихъ поръ пользовался, и замѣнивъ ее гораздо болѣе частой рѣшеткой. Вы видите, что среднее изображеніе щели не измѣняется, но по обѣ стороны, на большихъ разстояніяхъ

отъ него, вы замѣчаете еще по одному боковому изображенію. Эти изображенія растянуты въ цѣлые спектры, при чемъ красный цвѣтъ лежитъ снаружи, а фіолетовый—внутри. Еслибы мы взяли еще болѣе частую рѣшетку, то боковыя изображенія были бы удалены еще больше; въ концѣ-концовъ, они должны отодвинуться въ безконечность и исчезнуть. Изъ рис. 18 видно, что это должно наступить тогда, когда разстояніе двухъ щелей рѣшетки будетъ равно длинѣ волны или меньше ея.

Слѣдовательно, въ такихъ чрезвычайно частыхъ рѣшеткахъ весь свѣтъ, излучаемый отдѣльными щелями вкось, тушится интерференціей. Остается только свѣтъ, проходящій нормально къ рѣшеткѣ, который и даетъ рѣзкое тѣневое изображеніе очертаній всей рѣшетки. Но то же самое должно происходить и тогда, когда вообще нѣтъ никакой рѣшетки. Въ самомъ дѣлѣ, мы можемъ въ воображеніи раздѣлить прямоугольникъ, въ которомъ въ дѣйствительности нѣтъ рѣшетки, на безконечное число чрезвычайно тонкихъ полосокъ. Вообразимъ, что эти полосы поперемѣнно то свѣтлыя, то темныя, тогда мы представимъ себѣ дѣйствительно рѣшетку. При этомъ мы можемъ вообразить, что рѣшетка эта настолько частая, что она уже не должна давать боковыхъ изображеній. Это значитъ, что боковой свѣтъ, который могъ бы излучаться половиною полосъ, исчезаетъ, потому что отдѣльные лучи тушатся путемъ интерференціи. Тотъ же результатъ мы получимъ, если представимъ себѣ, что полосы, которыя мы пока считали свѣтлыми, станутъ темными, и наоборотъ. Въ виду того, что бокового свѣта, въ случаѣ той и другой системы полосъ, не будетъ, то само собой разумѣется, что и тогда, когда мы не будемъ представлять себѣ никакихъ полосъ, т.-е. когда не будетъ вообще никакой рѣшетки, нельзя будетъ замѣтить бокового свѣта.

Рѣзкія тѣни могутъ быть объяснены явленіями интерференціи свѣтовыхъ волнъ, и именно тѣмъ, что лучи, «диффрагированные» отъ краевъ предметовъ,

въ суммѣ взаимно уничтожаются. Только такіе предметы отбрасываютъ рѣзкія тѣни, размѣры которыхъ очень велики, по сравненію съ длинами свѣтовыхъ волнъ. Въ случаѣ малыхъ предметовъ, разности фазъ диффрагированныхъ лучей варіируютъ слишкомъ мало, чтобы дать просто темноту. Въ большинствѣ случаевъ, при этомъ получаются болѣе или менѣе сложныя интерференціонныя явленія, которыя называютъ явленіями диффракціи. Система съ чрезвычайно малымъ періодомъ неоднородности, напр., рѣшетка, у которой темныя полосы раздѣлены разстояніями, меньшими длины волны, ничѣмъ не отличается отъ прозрачнаго тѣла.

Границы видимости.

На явленіи отбрасыванія тѣни основана самая возможность рѣзкаго изображенія предметовъ на нашей сѣтчатой оболочкѣ, т.-е. возможность яснаго видѣнія ихъ. Поэтому для насъ въ высокой степени важно то обстоятельство, что свѣтовыя волны чрезвычайно малы (въ среднемъ $^1/_2$ μ). Ибо иначе мы не могли бы различать окружающихъ насъ предметовъ; мы получали бы вообще только впечатлѣнія свѣта и темноты. Звуковыя волны, въ круглыхъ числахъ, въ милліонъ разъ длиннѣе. Въ то время, какъ въ свѣтѣ мы различаемъ еще предметы, размѣры которыхъ составляютъ $^1/_{10}$ mm, съ волнами такой величины, какъ звуковыя, мы могли бы видѣть также ясно только лишь предметы размѣрами въ 100 метровъ. Въ дѣйствительности существуютъ родственные свѣту виды лучей, обладающіе такими длинами волнъ. Это—гертцевскія волны, которыя въ настоящее время сдѣлались столь важными въ безпроволочной телеграфіи. Но то существо, которое могло бы пользоваться этими лучами для воспріятія предметовъ внѣшняго міра, должно было бы быть великаномъ, въ милліонъ разъ большимъ, чѣмъ мы. Ибо для того, чтобы эти исполинскія волны давали на сѣтчатой оболочкѣ ясныя изоб-

раженія, зрачки его глазъ должны были бы имѣть нѣсколько километровъ въ ширину. Еслибы этотъ великанъ умѣлъ добывать достаточно сильныя гертцевскія волны, онъ могъ бы простымъ глазомъ ясно видѣть различныя страны такъ, какъ онѣ изображены на картахъ. Онъ ясно различалъ бы очертанія лѣсовъ, горныхъ хребтовъ, морей и городовъ, и онъ могъ бы также замѣтить, что города построены изъ очень мелкихъ зернышекъ, изъ домовъ. Но стѣна для него была бы также прозрачна, какъ прозраченъ для насъ слюдяной листокъ. Великанъ этотъ не могъ бы уже различить ни кирпичей, изъ которыхъ построена стѣна, ни, тѣмъ болѣе, всѣхъ тѣхъ маленькихъ вещей, которыя составляютъ нашъ собственный мірокъ и нашъ очагъ. Въ такомъ же отношеніи, въ какомъ находится этотъ великанъ и гертцевскія волны къ предметамъ нашего обихода, находимся мы сами и свѣтовыя волны къ молекуламъ. Еслибы существовали волны, длина которыхъ была бы равна приблизительно милліонной части длины свѣтовыхъ, и еслибы эти волны такъ же воспринимались глазомъ, какъ свѣтъ, то тогда мы могли бы непосредственно видѣть молекулы. При помощи микроскоповъ можно видѣть, конечно, гораздо больше, чѣмъ простымъ глазомъ. Происходитъ это не только потому, что линзы даютъ увеличенное изображеніе предметовъ (ибо какую же пользу могли бы принести всяческія увеличенія, еслибы очертанія тѣлъ въ изображеніи были не ясны), но гораздо больше потому, что линзы микроскопа, которыя помѣщены очень близко отъ объекта наблюденія, отшлифованы такимъ образомъ, что онѣ сводятъ широко развернутый пучокъ свѣтовыхъ лучей въ узкій пучокъ. Въ нашъ глазъ поступаютъ не только среднія части свѣта, диффрагированнаго отъ малыхъ предметовъ, но почти весь этотъ свѣтъ. При соединеніи всѣхъ диффрагированныхъ лучей происходитъ такая «удачная» интерференція, вслѣдствіе которой, какъ мы уже видѣли на примѣрѣ тѣневого изображенія щели, полу-

чается достаточно точное изображеніе малыхъ предметовъ. Но эта интерференція прекращается, а вмѣстѣ съ нею исчезаютъ и отчетливыя изображенія, какъ скоро диффракція становится настолько сильной, что остаются лишь среднія части пучковъ лучей. Можно разсчитать, что въ лучшіе микроскопы, какіе только вообще могутъ быть построены, и которые, кстати сказать, на основаніи этого теоретическаго расчета дѣйствительно строятся на фабрикѣ Цейса въ Іенѣ, что въ эти микроскопы въ крайнемъ случаѣ можно видѣть тѣльца 0,2 μ. Такимъ образомъ, вслѣдствіе волнообразной природы свѣта совершенно невозможно непосредственно видѣть форму и строеніе молекулъ,—на это нѣтъ рѣшительно никакой надежды.

Мутныя среды.

Но тѣмъ не менѣе остается еще возможность видѣть молекулы въ видѣ свѣтящихся точекъ. Точно также всѣ звѣзды, кромѣ планетъ, являются для насъ лишь свѣтящимися точками. Объясняется это тѣмъ, что вслѣдствіе громадной удаленности звѣздъ, пучки свѣта, излучаемаго ими, которые поступаютъ въ трубу, развернуты настолько мало, что не можетъ уже происходить интерференціи; а она только и создаетъ изображенія предметовъ. Мы видимъ, слѣдовательно, только то, что отъ опредѣленной точки небеснаго свода исходитъ свѣтъ. Въ нашихъ трубахъ этотъ свѣтъ соединяется въ маленькіе кружки, безъ всякой структуры и безъ всякаго намека на форму звѣзды. Точно такія же наблюденія были сдѣланы недавно надъ субмикроскопическими частицами.

Я долженъ, прежде всего, сообщить нѣкоторыя свѣдѣнія изъ оптики тѣлъ, заключающихъ мелкія частицы,—изъ оптики мутныхъ средъ. Я сдѣлалъ стеклянную пластинку мутной, посыпавъ ее порошкомъ изъ споръ ликоподія (плауноваго сѣмени). Я проектирую

круглую діафрагму на бѣлый экранъ и помѣщаю мутную стеклянную пластинку въ пучокъ свѣта. Вы видите, что въ темномъ пространствѣ, окружающемъ изображеніе діафрагмы, какъ разъ около этого изображенія, образовалось окрашенное кольцо, нѣсколько дальше—второе. Явленіе это очень часто наблюдается въ природѣ, когда луна бываетъ затянута тонкой вуалью облаковъ. Передъ нами здѣсь типичное диффракціонное явленіе. Каждое отдѣльное зернышко даетъ, вслѣдствіе своей малости, совершенно диффузную тѣнь, т.-е. изображеніе діафрагмы становится немного темнѣе, но рѣзкаго темнаго пятна вовсе не образуется. Кромѣ того, свѣтъ диффрагируется отъ краевъ зернышекъ такимъ же образомъ, какъ отъ краевъ очень узкой щели, и мы получаемъ окрашенныя диффракціонныя кольца въ тѣни діафрагмы. Дѣйствіе одного зернышка было бы настолько слабымъ, что его нельзя было бы обнаружить. Поэтому я посыпалъ на пластинку множество зеренъ, и при томъ такъ, чтобы они распредѣлились совершенно безпорядочно. Такъ какъ всѣ зернышки одинаково велики, то они всѣ и даютъ одинаковыя картины диффракціи. Такъ какъ далѣе они распредѣлены совершенно безпорядочно, то между отдѣльными картинами не происходитъ такихъ *правильныхъ* интерференцій, какъ это было въ случаѣ рѣшетки; отдѣльныя интерференціонныя явленія всюду взаимно уничтожаются, получающаяся общая диффракціонная картина представляетъ собой какъ бы усиленную и, вслѣдствіе этого, ясно видную диффракціонную картину отъ одного зернышка. Условіе возникновенія этой картины, такимъ образомъ, состоитъ въ томъ, чтобы всѣ частицы, производящія муть, имѣли совершенно одинаковую величину. Если мы видимъ вокругъ луны окрашенныя кольца, то мы можемъ отсюда заключить, что капельки, образующія облачный слой, имѣютъ совершенно одинаковую величину, и мы можемъ даже по виду диффракціи вычислить ихъ размѣры.

Другой видъ мутныхъ тѣлъ обусловленъ присутствіемъ частичекъ разной величины. Въ этомъ случаѣ всевозможныя диффракціонныя кольца налагаются другъ на друга такъ, что ихъ уже нельзя различить, и воспринимается только общее диффузное разсѣяніе свѣта. Къ этому виду принадлежитъ большинство облаковъ. Оба эти вида мутныхъ средъ характеризуются тѣмъ, что взмученныя частицы почти видимы простымъ глазомъ, но лучше въ микроскопъ.

Но наиболѣе интересный классъ составляютъ такія мутныя среды, частицы которыхъ уже не видимы и въ микроскопы. Я наливаю, напримѣръ, очень разведенное молоко въ корытце и пропускаю черезъ него лучъ свѣта. Вы видите, что круглое изображеніе діафрагмы остается совершенно рѣзкимъ, но только окрашивается въ желтовато-красный цвѣтъ. Правда, нѣкоторое количество диффузнаго свѣта можно все-таки замѣтить; онъ безъ сомнѣнія вызывается болѣе крупными частицами, существующими рядомъ съ субмикроскопически малыми. Диффракціонныхъ колецъ уже не видно. Все это соотвѣтствуетъ тому, что мы раньше наблюдали въ случаѣ очень узкой щели. Какъ эта послѣдняя даетъ широкій пучокъ свѣта безъ диффракціонныхъ полосъ, такъ очень маленькое непрозрачное тѣло даетъ широкую диффузную тѣнь безъ диффракціонныхъ полосъ. Уже при описаніи диффракціонной рѣшетки мы замѣтили, что тѣла съ очень мелкой структурой въ концѣ-концовъ представляются прозрачными тѣлами. Но чрезвычайно замѣчательно то, что свѣтъ, пропущенный черезъ мутную среду, даетъ не просто менѣе яркое изображеніе, но изображеніе, окрашенное въ желтовато-красный цвѣтъ. Въ такой же цвѣтъ бываетъ окрашено заходящее солнце. Прозрачная атмосфера принадлежитъ къ мутнымъ средамъ послѣдняго рода. Точно такъ же растворы бѣлковыхъ веществъ, напр., клея или желатины, проявляютъ такія же свойства. Въ отличіе отъ обыкновенныхъ прозрачныхъ растворовъ солей, сахара и

т. п., ихъ называютъ коллоидальными. Такіе коллоидальные растворы извѣстны для большинства металловъ. У насъ о нихъ уже шла однажды рѣчь (стр. 62). Я могу вамъ показать, въ качествѣ примѣра, интенсивно красный и интенсивно синій растворы золота; далѣе— могу показать великолѣпное рубиново-красное стекло, цвѣтъ котораго также зависитъ отъ присутствія золота въ коллоидальномъ состояніи. Эти коллоидальные препараты золота показываютъ, что особыми способами взмучиванія можно получить и иныя окраски, чѣмъ обычная желтовато-красная.

Всѣ мутныя тѣла даютъ возможность наблюдать проходящій черезъ нихъ свѣтовой лучъ, такъ какъ этотъ лучъ заставляетъ свѣтиться взмученныя частицы. Я умышленно не говорю: «частицы отражаютъ свѣтъ», такъ какъ мы уже знаемъ, что къ субмикроскопически-малымъ тѣльцамъ обычныя представленія о тѣни, объ отраженіи, о преломленіи вообще больше не приложимы. Лордъ Рэлей впервые развилъ теорію этихъ мутныхъ средъ. По его представленію, свѣтовыя колебанія приводятъ, въ свою очередь, въ колебанія маленькія частицы, которыя вслѣдствіе этого излучаютъ свѣтъ. Падающій свѣтъ дѣлаетъ эти частицы, какъ говорятъ, вибраторами. Происходитъ нѣчто въ родѣ того, что бываетъ, когда малые предметы приводятся въ колебаніе падающими на нихъ сильными звуковыми волнами и вслѣдствіе этого излучаютъ,—конечно, очень слабыя,— волны, соотвѣтствующія той же высотѣ тона. Такъ же точно свѣтъ, исходящій вкось отъ мутныхъ средъ, очень слабъ, по сравненію съ проходящимъ свѣтомъ. Лордъ Рэлей показалъ, далѣе, что если числа собственныхъ колебаній частицъ слишкомъ велики для того, чтобы могли произойти явленія резонанса, то онѣ излучаютъ, главнымъ образомъ, синіе и фіолетовые лучи, но очень мало красныхъ. Именно онъ нашелъ, что частицы улавливаютъ и излучаютъ по сторонамъ, въ среднемъ, въ 10 разъ больше синяго и фіолетоваго свѣта, чѣмъ

краснаго; желтаго и зеленаго въ 2—4 раза больше, чѣмъ краснаго. Этимъ объясняется, почему мутное тѣло на темномъ фонѣ кажется синимъ, а въ проходящемъ свѣтѣ, какъ мы уже видѣли, пріобрѣтаетъ желтовато-красный цвѣтъ. Теоретическія вычисленія лорда Рэлея хорошо подтверждены измѣреніями.

То обстоятельство, что коллоидальные растворы металловъ имѣютъ совсѣмъ другую окраску, чѣмъ обычныя мутныя тѣла, объясняется особыми оптическими свойствами металловъ. Именно, они обладаютъ рѣзко избирательными свойствами по отношенію къ различнымъ видамъ свѣта; одни цвѣта они сильно поглощаютъ, другіе особенно сильно отражаютъ. Въ красномъ растворѣ золота, напримѣръ, происходитъ очень сильное поглощеніе зеленаго свѣта частицами золота; въ синемъ—наблюдается, большею частью, особо сильное излученіе красновато-желтаго свѣта. Теорія Рэлея, о которой мы только что говорили, справедлива только для частицъ такихъ веществъ, которыя не обладаютъ ни особенно сильной избирательною, ни поглощательною способностью, которыя, слѣдовательно, имѣютъ видъ бѣлой или только слабо окрашенной крупной пыли. Большинство веществъ принадлежитъ именно къ этому классу.

Поляризація свѣта.

Своеобразными свойствами обладаетъ свѣтъ, излучаемый мутными средами по сторонамъ, когда черезъ эти среды пропускаютъ такъ называемый поляризованный свѣтъ. Этотъ послѣдній получаютъ, пропуская обыкновенный свѣтовой лучъ черезъ кристаллъ. Я проектирую изображеніе круглой діафрагмы на бѣлый экранъ и помѣщаю въ пучокъ свѣта, между діафрагмой и экраномъ, кристаллъ известковаго шпата. Вы видите, что изображеніе раздваивается. При этомъ одно изображеніе остается посреди экрана, гдѣ оно и было до того, какъ я поставилъ на пути луча известко-

вый шпатъ, а другое располагается въ сторонѣ. Если я стану вращать кристаллъ вокругъ оси, параллельной лучу, то второе изображенiе будетъ вращаться около перваго, какъ луна вокругъ земли.

Такимъ образомъ, мы видимъ прежде всего слѣдующее: кристаллъ расщепляетъ свѣтовой лучъ на два различныхъ луча. И въ нашемъ случаѣ, одинъ лучъ проходитъ насквозь черезъ кристаллическую пластинку такъ, какъ онъ прошелъ бы черезъ стекло или черезъ какое-либо иное некристаллическое тѣло; но другой лучъ испытываетъ отклоненiе въ кристаллѣ, онъ подчиняется особому закону преломленiя, котораго мы не наблюдаемъ у аморфныхъ тѣлъ. Это различiе въ свойствахъ обоихъ лучей, какъ увидимъ, не особенно существенно; часто наблюдается, что въ другихъ кристаллахъ оба луча, а не только одинъ, идутъ иначе, чѣмъ въ аморфныхъ тѣлахъ. Однако мы можемъ съ удобствомъ использовать его для непосредственнаго различiя обоихъ лучей. Мы называемъ, какъ это обычно принято, лучъ, проходящiй черезъ кристаллъ, какъ черезъ аморфное тѣло,—обыкновеннымъ; лучъ же, отклоняющiйся въ сторону,—необыкновеннымъ.

Я покажу вамъ теперь, что оба эти луча уже не являются лучами естественнаго свѣта, но что скорѣе тутъ на нашихъ глазахъ возникъ новый видъ свѣта, чего мы, однако, на первый взглядъ, не замѣчаемъ. Я загораживаю необыкновенный лучъ кускомъ черной бумаги, чтобы мы сначала могли сосредоточить все свое вниманiе на обыкновенномъ лучѣ. Я пропущу теперь этотъ лучъ черезъ вторую пластинку изъ известковаго шпата, которую я расположу такимъ образомъ, чтобы всѣ поверхности, ограничивающiя ее, были параллельны соотвѣтствующимъ поверхностямъ первой пластинки. Такимъ образомъ, если бы я помѣстилъ эту вторую пластинку непосредственно рядомъ съ первой, то онѣ образовали бы одинъ цѣльный кусокъ кристалла. Вы видите теперь, что если вторую пластинку орiентиро-

вать такимъ образомъ, то обыкновенный лучъ не расщепляется во второй разъ, а просто проходитъ черезъ кристаллъ, какъ черезъ кусокъ стекла. Это доказываетъ, что передъ нами здѣсь не обычный свѣтъ лампы, но особый видъ свѣта; мы называемъ его «поляризованнымъ свѣтомъ». Чтобы точнѣе изслѣдовать этотъ свѣтъ, я вращаю вторую кристаллическую пластинку вокругъ оси, параллельной лучу. Вы видите теперь, что сбоку отъ яркаго средняго круга возникаетъ сперва совсѣмъ слабо свѣтящійся спутникъ. Слѣдовательно, при незначительномъ поворотѣ пластинки и поляризованный лучъ раздѣляется на два: на сильный—обыкновенный, и слабый—необыкновенный. Я продолжаю вращать пластинку, и вы видите, что спутникъ становится все ярче за счетъ центральнаго круга. Они будутъ обладать одинаковой яркостью, когда вторая пластинка будетъ повернута какъ разъ на половину прямого угла относительно своего первоначальнаго положенія. Если я буду вращать дальше, то центральный кругъ будетъ становиться все темнѣй, спутникъ—все ярче. Наконецъ, центральный кругъ исчезаетъ совсѣмъ, и весь свѣтъ проходитъ черезъ вторую пластинку въ видѣ необыкновеннаго луча. Это наступаетъ въ тотъ моментъ, когда вторая пластинка повернута какъ разъ на прямой уголъ.

Этимъ простымъ опытомъ доказано то, что я уже предварительно утверждалъ, что обыкновенный лучъ и необыкновенный не являются лучами двухъ существенно-различныхъ видовъ свѣта. Ибо тотъ самый свѣтъ, который сперва проходилъ черезъ вторую пластинку въ видѣ обыкновеннаго луча, проходитъ потомъ въ видѣ необыкновеннаго. Теперь я убираю вторую пластинку и передвигаю черную бумагу, которая заслоняла необыкновенный лучъ перваго кристалла, такъ, чтобы теперь этотъ лучъ могъ падать на экранъ, а обыкновенный лучъ былъ заслоненъ. Вы видите только сдвинутый вбокъ свѣтлый кружокъ, который вращается при поворачиваніи пластинки известковаго шпата. Теперь я

снова помѣщаю передъ нею вторую пластинку, и сначала оріентирую ее параллельно первой. Какъ вы видите, лучъ больше не разлагается, но кружокъ еще дальше отодвигается отъ центра. Слѣдовательно, лучъ выходитъ изъ второй пластинки, какъ необыкновенный. Если я стану вращать эту пластинку, то на мѣстѣ, гдѣ находился кругъ до того, какъ я пропустилъ лучъ черезъ вторую пластинку, появится, сперва совсѣмъ слабо, «центральное изображеніе», вокругъ котораго вращается другой кругъ. Центральное изображеніе будетъ становиться тѣмъ ярче, чѣмъ больше будетъ повернута вторая пластинка по отношенію къ ея первоначальному положенію, и, когда уголъ поворота въ точности будетъ равенъ прямому, останется только одно это центральное изображеніе. Весь свѣтъ тогда будетъ проходить черезъ вторую пластинку въ видѣ обыкновеннаго луча.

Мы можемъ резюмировать результатъ обоихъ этихъ опытовъ въ слѣдующемъ краткомъ законѣ: обыкновенный лучъ обладаетъ тѣми же свойствами, какъ необыкновенный, повернутый на прямой уголъ вокругъ оси, параллельной направленію его распространенія. Это вращеніе свѣтового луча около своего собственнаго направленія достигается, само собой разумѣется, вращеніемъ кристаллической пластинки вокругъ оси, параллельной направленію луча, какъ я уже это много разъ дѣлалъ.

Теперь для того, чтобы ясно представить наблюденныя явленія, мы введемъ нѣкоторыя новыя понятія и термины. Мы говоримъ: свѣтовой лучъ называется поляризованнымъ, когда онъ, проходя черезъ двупреломляющую кристаллическую пластинку, опредѣленнымъ образомъ оріентированную, не раздѣляется больше на два луча.

Для двухъ разныхъ поляризованныхъ лучей необходимая для этого оріентировка кристаллической пластинки, вообще, не одинакова. Мы будемъ, на основаніи этой оріентировки, различать *направленіе* поляризаціи. Кристаллъ известковаго шпата имѣетъ (см. рис. 5, стр. 45)

ось симметріи третьяго порядка, которую кратко на-
зываютъ его осью. Въ пластинкахъ, которыми я толь-
ко что пользовался, эта ось направлена наклонно къ
плоскостямъ, ограничивающимъ эти пластинки. Если вы-
рѣзать пластинку изъ кристалла известковаго шпата та-
кимъ образомъ, чтобы ось была *перпендикулярна* къ пло-
скостямъ, ограничивающимъ пластинку, то она не бу-
детъ давать двойного преломленія. Если наши кристал-
лическія пластинки будутъ поворачиваться около на-
правленія луча, то тогда ихъ оси также будутъ вра-
щаться, при чемъ каждая ось будетъ описывать конусъ.
Такимъ образомъ, давая положеніе оси въ пространствѣ,
мы можемъ въ точности опредѣлить оріентировку пла-
стинки. Мы называемъ плоскость, въ которой лежатъ
оба луча и ось, главной плоскостью пластинки. Если
я обозначу положеніе главной плоскости у обѣихъ мо-
ихъ пластинокъ чертой на оправѣ, то для того, чтобы
знать, какъ оріентирована пластинка, я долженъ буду
глядѣть только на эту черту.

Для того, чтобы испытать, какъ поляризованъ свѣто-
вой лучъ, пропускаютъ его перпендикулярно черезъ
пластинку изъ известковаго шпата, и вращаютъ ее до
тѣхъ поръ, пока свѣтовой лучъ не перестаетъ раз-
дваиваться, и проходитъ въ видѣ обыкновеннаго луча.
Ту плоскость, съ которой тогда будетъ совпадать глав-
ная плоскость пластинки изъ известковаго шпата, на-
зываютъ плоскостью поляризаціи луча.

Мы можемъ теперь сказать: обыкновенный и необык-
новенный лучи различаются только тѣмъ, что плоско-
сти ихъ поляризаціи другъ къ другу перпендикулярны.

Совершенно общій эмпирическій законъ гласитъ, что
физическія свойства поляризованнаго свѣтового луча
полностью характеризуются положеніемъ плоскости его
поляризаціи. Мы можемъ сказать, что поляризованный
лучъ обладаетъ всѣми тѣми свойствами симметріи, ко-
торыя присущи бумажной полоскѣ. Бумажная полоска
имѣетъ не только продольное, но и поперечное напра-

вленіе. У звукового луча ни при какихъ обстоятельствахъ не наблюдается явленія поляризаціи. Это становится само собой понятнымъ, если принять во вниманіе природу звуковыхъ волнъ. Звуковой лучъ обладаетъ симметріей круглаго стержня, который можно вращать около продольной оси, не измѣняя его вида. Волны, у которыхъ можно замѣтить только одно продольное направленіе, называютъ продольными. Волны, у которыхъ обнаруживается еще одно характеристичное направленіе, перпендикулярное къ направленію распространенія, называютъ поперечными. Волны на поверхности воды, согласно этому опредѣленію, являются однимъ изъ видовъ поперечныхъ волнъ, такъ какъ у нихъ можно обнаружить разницу между горизонтальнымъ и вертикальнымъ направленіями, перпендикулярными къ направленію распространенія луча. Всѣ опыты надъ поляризованнымъ свѣтомъ можно резюмировать въ слѣдующемъ законѣ: поляризованный свѣтъ состоитъ изъ поперечныхъ волнъ.

Но тогда сейчасъ возникаетъ вопросъ: что же такое представляетъ собой естественный свѣтъ? Такъ какъ въ лучахъ этого свѣта ни одно изъ перпендикулярныхъ къ нимъ направленій не обладаетъ какимъ-либо преимуществомъ, то, согласно только что установленному опредѣленію, мы должны были бы причислить его къ одному изъ видовъ продольныхъ волнъ. Но однако этого нѣтъ на самомъ дѣлѣ. Дѣйствительно, вѣдь въ главныхъ чертахъ поляризованный и естественный свѣтъ обладаютъ одинаковыми свойствами. Какъ первый, такъ и второй, вообще, совершенно одинаковымъ образомъ расщепляются пластинкой изъ известковаго шпата на два луча, изъ которыхъ одинъ поляризованъ въ главной плоскости, другой—въ плоскости, перпендикулярной къ ней. Но только, въ случаѣ поляризованнаго свѣта, въ противоположность естественному, оба эти луча обладаютъ, вообще говоря, различной интенсивностью, и, при опредѣленномъ положеніи пластинки, одинъ изъ нихъ со-

вершенно исчезаетъ. Такимъ образомъ, естественный свѣтъ принципіально не отличается отъ поляризованнаго; онъ является, скорѣе, смѣсью громаднаго числа лучей, поляризованныхъ въ самыхъ разнообразныхъ плоскостяхъ. Вслѣдствіе этого, ни одна изъ плоскостей не обладаетъ какими-либо преимуществами, и намъ кажется, что естественный свѣтъ имѣетъ природу продольныхъ волнъ. Эту смѣсь громаднаго числа различно поляризованныхъ лучей можно лучше всего представить себѣ, допуская, что плоскость поляризаціи луча черезъ безконечное-короткіе промежутки времени послѣдовательно занимаетъ всевозможныя положенія. Приблизительно можно утверждать, что въ теченіе одной секунды плоскость поляризаціи луча измѣняется нѣсколько милліоновъ разъ. Подобнымъ же образомъ, какъ это мы уже видѣли, молекулы осязаемой матеріи кажутся находящимися въ покоѣ, въ то время, какъ направленіе ихъ движенія безконечно часто измѣняется.

Мы утверждаемъ поэтому, что свѣтъ состоитъ изъ поперечныхъ волнъ.

Вмѣстѣ съ тѣмъ, мы пріобрѣли чрезвычайно важное указаніе относительно той сущности, того опредѣляющаго фактора, періодическое измѣненіе котораго вызываетъ въ нашихъ глазныхъ нервахъ ощущеніе свѣта. Эта измѣняющаяся величина должна быть «направленной», она должна характеризоваться не только численнымъ значеніемъ, но и нѣкоторымъ направленіемъ,— въ данномъ случаѣ перпендикулярнымъ къ направленію распространенія; такъ же въ механикѣ сила характеризуется не только опредѣленной величиной, но и опредѣленнымъ направленіемъ своего дѣйствія. Звуковыя волны, какъ мы знаемъ, суть періодическія измѣненія плотности воздуха. Такъ какъ плотность изображается лишь численнымъ значеніемъ, то мы не можемъ обнаружить у звуковыхъ волнъ какого-либо иного характернаго направленія, кромѣ направленія распространенія; по этой же причинѣ онѣ не могутъ быть поляризованы.

Что же это за направленная величина, которая образуетъ свѣтовыя волны? Это выяснилось намъ только въ недавнее время, и я буду еще объ этомъ говорить въ послѣдующемъ. Но уже здѣсь надо, забѣгая впередъ, замѣтить, что это состоянiе можетъ быть только состоянiемъ электрическаго напряженiя. Словомъ: свѣтовой лучъ есть быстро распространяющееся въ пространствѣ перемѣнное электрическое поле. Электрическое напряженiе характеризуется не только численнымъ значенiемъ, но и опредѣленнымъ направленiемъ, и плоскость поляризацiи свѣтового луча указываетъ, какое направленiе имѣютъ силовыя линiи перiодически измѣняющагося поля. Разнообразными изслѣдованiями, которыхъ я не могу здѣсь излагать, констатировано, что электрическое напряженiе перпендикулярно къ плоскости поляризацiи.

Я изложилъ вамъ все, что необходимо было знать для пониманiя послѣдующаго. Будемъ освѣщать теперь мутное тѣло поляризованнымъ свѣтомъ. Но какъ мы получаемъ поляризованный свѣтъ? Мы получаемъ его теперь, просто пропуская естественный свѣтъ черезъ кусокъ кристалла, который снабженъ приспособленiемъ, позволяющимъ устранить одинъ изъ двухъ получающихся при этомъ лучей. Устроенный такимъ образомъ кусокъ кристалла называютъ поляризаторомъ или, въ честь его изобрѣтателя,—Николевой призмой. Для изготовленiя такой призмы берутъ известковый шпатъ, въ виду того, что онъ особенно далеко раздѣляетъ другъ отъ друга оба луча, и, слѣдовательно, устраненiе одного изъ нихъ не представляетъ никакихъ трудностей. Свѣтъ, выходящiй изъ николя, имѣетъ, такимъ образомъ, опредѣленную плоскость поляризацiи, т.-е. опредѣленное направленiе перемѣннаго электрическаго поля. Я приклеилъ къ оправѣ николя, съ которымъ я теперь буду производить опыты, узкiй указатель; направленiе его должно показывать вамъ направленiе электрическихъ колебанiй. Если мы станемъ смотрѣть сквозь николь, то

мы замѣтимъ, что естественный свѣтъ не будетъ измѣняться при вращенiи призмы около ея продольной оси.

Но если свѣтъ, проходящiй черезъ николь, уже поляризованъ, то при вращенiи призмы будетъ наблюдаться попеременное просвѣтлѣнiе и потемнѣнiе поля зрѣнiя. Если направленiе, отмѣченное указателемъ, будетъ перпендикулярно къ направленiю колебанiй падающаго свѣта, то этотъ свѣтъ будетъ полностью уничтожаться николемъ, и мы увидимъ совершенную темноту. Если же оба эти направленiя будутъ совпадать, то свѣтъ будетъ проходить черезъ николь не ослабляясь, и мы будемъ имѣть наибольшую яркость. Между этими двумя крайними случаями будутъ существовать всевозможные переходы. Такимъ образомъ, при помощи николевой призмы мы можемъ не только сразу узнать, поляризованъ ли свѣтъ, но даже опредѣлить направленiе его колебанiй. Николева призма, употребляющаяся для такой цѣли, называется анализаторомъ.

Я помѣщаю николь между мутнымъ растворомъ и электрической лампой и поворачиваю его около собственной оси. Вы всѣ замѣтите, что мутный растворъ то ярко свѣтится, то становится темнымъ. Потемнѣнiе вы замѣчаете всякiй разъ, когда указатель моей николевой призмы бываетъ направленъ на васъ. Это значитъ слѣслѣдующее: взмученная частица, на которую падаетъ поляризованный свѣтъ, не излучаетъ свѣта въ направленiи колебанiй падающаго свѣта. Наибольшую яркость вы замѣчаете, когда указатель стоитъ перпендикулярно къ линiи зрѣнiя. Слѣдовательно: взмученная частица излучаетъ наибольшее количество свѣта въ направленiяхъ, перпендикулярныхъ направленiю колебанiй падающихъ лучей. Если вы станете въ то же время изслѣдовать разсѣянный свѣтъ при помощи николевой призмы, то вы найдете, что онъ поляризованъ, при чемъ колебанiя его совершаются въ плоскости, положенiе которой опредѣляется лучомъ и направленiемъ колебанiй свѣта, проходящаго черезъ мутное тѣло. Я попытался на-

глядно изобразить эту закономѣрность на рис. 19. Обѣ стрѣлки, лежащія внутри кружка, изображающаго сѣченіе взмученной частицы, указываютъ направленіе колебаній падающаго свѣта, который, такъ сказать, побуждаетъ частицу къ свѣченію. Прямыми, расходящимися по радіальнымъ направленіямъ, я обозначилъ лучи, которые должны изображать разсѣянный свѣтъ. Перпендикулярно къ каждому лучу у меня проведены маленькія прямыя, которыя по направленію совпадаютъ съ

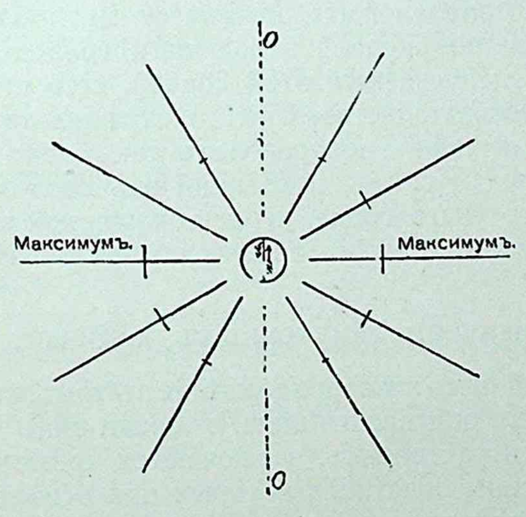


Рис. 19. Излученіе небольшого электрическаго вибратора.

колебаніями, а по величинѣ изображаютъ интенсивности разсѣяннаго свѣта. Лучеиспусканіе, изображенное на рис. 19, есть какъ разъ лучеиспусканіе маленькаго тѣльца, въ которомъ происходятъ электрическія колебанія въ направленіи возбуждающихъ колебаній падающаго луча. Все совершается такъ, какъ это должно быть по теоріи лорда Рэлея.

Если мы посмотримъ на мутную среду въ направленіи, перпендикулярномъ къ падающему лучу, то колебанія свѣта, испускаемаго частицами, будутъ происходить въ плоскости, перпендикулярной къ этому лучу. Каково бы

ни было направленіе плоскости поляризаціи, это направленіе, конечно, всегда лежитъ въ этой же плоскости. Отсюда слѣдуетъ, что въ разсѣянномъ свѣтѣ, излучаемомъ перпендикулярно къ направленію падающаго луча, колебанія происходятъ всегда въ одной и той же плоскости, если бы даже мы взяли естественный свѣтъ, т.-е. свѣтъ, поляризованный совершенно безпорядочно. Это дѣйствительно и наблюдается въ мутныхъ средахъ. Я уже упомянулъ, что видимо-прозрачная атмосфера тоже принадлежитъ къ классу мутныхъ средъ— это узнается по окраскѣ заходящаго солнца; разсѣянный свѣтъ, испускаемый этой средой, есть свѣтъ неба. Лучшимъ доказательствомъ этѵго служитъ тотъ фактъ, что небесный свѣтъ поляризованъ такъ, какъ у всѣхъ мутныхъ средъ; свѣтъ, исходящій изъ какого-либо мѣста зоны небеснаго свода, перпендикулярной къ солнечнымъ лучамъ, при этомъ вполнѣ поляризованъ.

Видимость взмученныхъ частичекъ.

Не можетъ быть никакого сомнѣнія въ томъ, что въ мутныхъ средахъ описаннаго вида, а среди нихъ и въ коллоидальныхъ растворахъ, заключаются чрезвычайно малыя взвѣшенныя частицы, которыя при освѣщеніи сами начинаютъ свѣтиться, какъ маленькія звѣздочки. Какъ мы уже упомянули, на стр. 62, эти звѣздочки впервые непосредственно наблюдались Зидентопфомъ и Жигмонди, освѣщавшими со стороны мутную среду. Такъ какъ въ твердыхъ тѣлахъ, какъ, напр., въ рубиновомъ стеклѣ, не наблюдается броуновскаго молекулярнаго движенія, и частицы находятся въ видимомъ покоѣ, то мы можемъ сосчитать, сколько звѣздочекъ приходится на 1 кубич. сантиметръ мутнаго тѣла. Такъ какъ, съ другой стороны, химическимъ анализомъ можно установить какое количество взмученнаго вещества находится въ каждомъ кубич. сантиметрѣ тѣла, то можно вычислить среднюю величину отдѣльной частички. Зиден-

топфъ и Жигмонди нашли такимъ образомъ что пылинки золота, которыя сообщаютъ рубиновому стеклу его великолѣпную окраску, имѣютъ поперечникъ всего лишь отъ 10 до 20 $\mu\mu$.

Матерія, какъ мутная среда.

Послѣднія наблюденія и разсужденія неизбѣжно ведутъ насъ къ тому результату, что матерія, если она построена изъ мельчайшихъ частицъ, должна быть мутной средой. Хотя матерія не является мутнымъ тѣломъ того класса, къ которому мы причисляемъ облака или глину, но все же и она принадлежитъ къ чрезвычайно тонко взмученнымъ тѣламъ, какъ коллоидальные растворы. И однако она, несмотря на это, бываетъ такой прозрачной!

Вычисленія лорда Рэлея показали,—я до сихъ поръ объ этомъ не имѣлъ надобности упоминать,—что если данное количество вещества распредѣлено въ данномъ объемѣ въ видѣ совсѣмъ тонкой мути, то разсѣянный свѣтъ будетъ тѣмъ слабѣй, чѣмъ мельче раздроблено взмученное тѣло. Дѣйствительно, коллоидальные растворы золота, при одинаковой окраскѣ, выглядятъ тѣмъ менѣе мутными, чѣмъ мельче взвѣшенныя частички золота. Наконецъ, у самыхъ тонкихъ суспензій уже нельзя замѣтить разсѣяннаго свѣта, такъ что онѣ имѣютъ видъ обыкновенныхъ растворовъ красной краски. Можно разсчитать, какую муть должно вызвать молекулярное раздробленіе, степень котораго намъ приблизительно даетъ Лошмидтово число. Эта оцѣнка показываетъ, что, несмотря на громадное число молекулъ, изъ которыхъ построено вещество, разсѣянный свѣтъ, излучаемый ими, такъ слабъ, что его вообще нельзя замѣтить. Поэтому-то чистыя тѣла кажутся прозрачными. Чтобы обнаружить муть, надо было бы произвести опыты въ совершенно темномъ пространствѣ, гдѣ глазъ очень чувствителенъ. Эти опыты слѣдовало бы обставить такимъ образомъ, чтобы со стороны падалъ очень интенсивный

свѣтъ, который, пройдя изслѣдуемое тѣло, тщательно уничтожался бы черными предметами. Тогда, пожалуй, глазъ могъ бы замѣтить слабый разсѣянный свѣтъ. Дѣйствительно, Тиндаль при весьма внимательныхъ наблюденіяхъ надъ самой чистой и самой прозрачной водой, какую онъ только могъ достать, всегда замѣчалъ разсѣянный свѣтъ, какъ и должно было быть, въ силу закономѣрностей, установленныхъ лордомъ Рэлеемъ. Обусловлена ли тутъ муть самими молекулами или же мельчайшими посторонними тѣльцами, которыя, несмотря на всѣ мѣры предосторожности, не были удалены,— этого достовѣрно нельзя сказать, хотя болѣе вѣроятно второе предположеніе. Но существуетъ вещество, у котораго всякій ежедневно можетъ наблюдать ту тонкую муть, о которой мы говоримъ. Это—прозрачный атмосферный воздухъ. Именно здѣсь всѣ обстоятельства наблюденія особенно благопріятны. Мы видимъ воздухъ на фонѣ абсолютно темнаго пространства, при чемъ онъ пронизывается наиболѣе яркимъ свѣтомъ, который только предоставленъ въ наше распоряженіе—солнечнымъ. Далѣе, толщина слоя атмосфернаго воздуха измѣряется многими километрами, такъ что число молекулъ достаточно велико, чтобы въ цѣломъ дать свѣтъ, который не затмевался бы свѣтомъ, отраженнымъ отъ окружающихъ насъ предметовъ. Такимъ образомъ, мы наблюдаемъ у атмосферы свѣтъ мутныхъ тѣлъ,—именно, свѣтъ неба,— и тогда, когда она представляется намъ на сотни метровъ абсолютно прозрачной, какъ это бываетъ на высокихъ горахъ. Разнообразныя измѣренія показали, что свѣтъ неба, какъ по своей окраскѣ, такъ и по состоянію поляризаціи, слѣдуетъ законамъ Рэлея. Само собой разумѣется, что въ атмосферѣ находятся взмученныя посторонніе тѣльца, въ видѣ тончайшей пыли. Но такъ какъ мы, по многимъ основаніямъ, убѣждены въ молекулярномъ строеніи тѣлъ, и такъ какъ, въ согласіи съ теоретическими положеніями этого представленія, мы видимъ свѣтъ неба и тогда, когда атмосфера бываетъ наиболѣе

чиста, то, пожалуй, не будетъ незаконнымъ приписать этотъ свѣтъ, если не исключительно, то, по крайней мѣрѣ, главнымъ образомъ, излученію самихъ молекулъ воздуха. Лордъ Рэлей и лордъ Кельвинъ вычислили Лошмидтово число, исходя изъ теоріи Рэлея, которая, вѣдь, даетъ зависимость интенсивности излученія отъ степени раздробленія взмученнаго вещества. Это вычисленіе сдѣлано на основаніи наблюденій надъ интенсивностью небеснаго свѣта и въ предположеніи, что излученіе мельчайшихъ посторонних тѣлецъ въ очень ясные дни исчезающе-мало по сравненію съ излученіемъ самихъ молекулъ воздуха. На основаніи лучшихъ изъ имѣющихся налицо наблюденій, сдѣланныхъ въ Потсдамѣ, лордъ Кельвинъ получилъ N=24,7 трилліона. Однако, это число навѣрное слишкомъ мало. Въ самомъ дѣлѣ, интенсивность небеснаго свѣта, вслѣдствіе присутствія въ атмосферѣ взмученныхъ частицъ, въ видѣ пылинокъ, и т. д., получается нѣсколько большей, чѣмъ интенсивность, соотвѣтствующая абсолютно-чистой атмосферѣ, которая берется въ расчетъ при вычисленіи. А, съ другой стороны, по теоріи Рэлея, интенсивность должна быть тѣмъ больше, чѣмъ крупнѣе взвѣшенныя частицы. Слѣдовательно, наше вычисленіе должно был. дать не точные результаты: размѣры частицъ должны получиться слишкомъ большими, а N—слишкомъ малымъ.

Далѣе, если справедливо, что молекулы подъ дѣйствіемъ падающаго свѣта начинаютъ сверкать, какъ мельчайшія частички мутныхъ тѣлъ, то нельзя ли надѣяться непосредственно увидѣть ихъ по методу Зидентопфа и Жигмонди. Конечно, трудность тутъ заключалась бы въ томъ, что пришлось бы примѣнить свѣтъ колоссальной интенсивности для того, чтобы возбудить замѣтное свѣченіе въ такихъ мельчайшихъ частицахъ, какъ молекулы. Но если бы удалось преодолѣть и это препятствіе, то все-таки мы не увидѣли бы молекулъ. Даже въ столь сильно разрѣженныхъ газахъ, какъ, напр., воздухъ въ рентгеновскихъ трубкахъ, молекулы расположены все еще такъ тѣсно другъ къ другу, что ихъ нельзя

было бы въ отдѣльности различить въ микроскопъ. Можно было бы увидѣть своего рода «млечный путь», но не отдѣльныя звѣзды.

Весьма возможно, что при многихъ химическихъ процессахъ, именно въ фосфоресцирующихъ и флюоресцирующихъ веществахъ, свѣтятся отдѣльныя молекулы. Если это такъ, то тогда, быть можетъ, микроскопъ, въ которомъ можно видѣть вспыхиваніе отдѣльныхъ молекулъ, могъ бы сообщать намъ слабыя вѣсти о различныхъ процессахъ въ этомъ микроскопическомъ мірѣ, подобно тому, какъ внезапное появленіе и исчезновеніе на небѣ «новыхъ звѣздъ», подаетъ намъ таинственныя и неопредѣленныя извѣстія о процессахъ, совершающихся въ неизмѣримомъ мірововъ пространствѣ.

---

4. Атомы.

До сихъ поръ мы сравнивали молекулы съ отдѣльными песчинками, образующими песчаникъ. Между тѣмъ, наблюденія показываютъ, что эта простая картина не можетъ быть вполнѣ точной. Мы уже много разъ упоминали, что результаты, къ которымъ приводитъ молекулярная теорія при простомъ допущеніи, что молекулы ведутъ себя, какъ упругіе шары, вообще, не точно совпадаютъ съ наблюдавшимися фактами. Измѣренія ясно показываютъ, что молекулы подраздѣлены еще на отдѣльныя подвижныя части.

Обратимость химическихъ превращеній.

Этотъ взглядъ подтверждается также химіей. Мы займемся теперь двумя совершенно общими эмпирическими законами, которые образуютъ основу всей химіи. Первый законъ заключается въ слѣдующемъ:

Если изъ двухъ или нѣсколькихъ химически-однородныхъ тѣлъ можно получить, соотвѣтствующими процессами, одно химически-однородное вещество, и при этомъ остальныя, присутствующія при процессѣ, тѣла химически не измѣняются, то и обратно изъ этого новаго вещества всегда можно опять получить первоначальныя, въ тѣхъ количествахъ, въ какихъ они были раньше, при чемъ прочія тѣла останутся не измѣненными химически.

Я поставилъ тутъ два газопріемника; въ одномъ находится водородъ, въ другомъ—кислородъ. Если я впущу оба газа въ маленькую латунную трубку горѣлки, то они смѣшаются тамъ, и изъ горѣлки будетъ выходить смѣсь, гремучій газъ, который я легко могу воспламенить. Гремучій газъ не есть химически однородное тѣло. Если я подвергну его, напр., очень сильному охлажденію, погружая сосудъ, въ которомъ онъ заключенъ, въ жидкій воздухъ, то кислородъ конденсируется въ жидкость, а водородъ останется газообразнымъ. Я зажигаю теперь гремучій газъ, выходящій изъ горѣлки. Пламя, которое вы видите,—такъ наз. водородное; въ немъ достигается одна изъ наивысшихъ температуръ, какія мы вообще знаемъ. Здѣсь происходитъ глубокое измѣненіе матеріи. Если мы соберемъ газъ, выходящій изъ пламени,—это мы можемъ сдѣлать, напр., заставляя горѣніе совершаться въ закрытомъ эвакуированномъ пространствѣ,—то мы получимъ новое химически однородное тѣло, при условіи, чтобы притокъ газа былъ урегулированъ такимъ образомъ, чтобы на литръ кислорода всегда приходилось 2 литра водорода. Тогда кислородъ и водородъ совершенно пропадутъ въ пламени гремучаго газа, и вмѣсто нихъ возникнетъ новое вещество, котораго прежде не было. Это новое вещество есть чистый водяной паръ; при охлажденіи онъ конденсируется въ чистую воду, которая обладаетъ всѣми свойствами, присущими дестиллированной колодезной водѣ. Я разведу теперь 10-и процентный растворъ сѣрной кислоты количествомъ воды, какъ разъ равнымъ

тому, которое получено описаннымъ образомъ въ пламени гремучаго газа, и наполню этимъ растворомъ U-образную трубку. Оба колѣна этой трубки вверху закрыты кранами, а внизу заключаютъ въ себѣ по платиновой пластинкѣ, и отъ каждой изъ нихъ наружу идетъ проволока. Проволоки эти я соединю съ полюсами нѣкотораго источника электричества. Когда черезъ разведенную сѣрную кислоту проходитъ электрическій токъ, то съ обѣихъ сторонъ образуется газъ, при чемъ объемъ газа, получившагося съ одной стороны, всегда будетъ вдвое больше, чѣмъ съ другой. Если я, пріоткрывши немного кранъ, запирающій U-образную трубку сверху, стану выпускать газъ, имѣющій большій объемъ, и поднесу къ нему зажженую спичку, то газъ воспламенится; болѣе точное изслѣдованіе всѣхъ его свойствъ показало бы намъ, что это есть не что иное, какъ водородъ. Другой газъ заставляетъ вспыхнуть яркимъ пламенемъ тлѣющую спичку, которую я держу передъ пріоткрытымъ краномъ; всѣ его свойства тождественны со свойствами кислорода. Представимъ себѣ, что въ нашей U-образной трубкѣ съ разведенной сѣрной кислотой электрическій токъ проходитъ до тѣхъ поръ, пока не образуется снова такое же количество кислорода, какое раньше исчезло въ водородномъ пламени. Тогда мы одновременно получимъ и прежде исчезнувшее количество водорода, такъ какъ вмѣстѣ съ каждымъ литромъ кислорода получается всегда 2 литра водорода. Когда это будетъ достигнуто, мы выключимъ электрическій токъ и изслѣдуемъ разведенную сѣрную кислоту. Мы найдемъ тогда, что растворъ ея снова будетъ 10-процентнымъ, а количество—такое же, какъ прежде, до того, какъ мы развели ее водой, полученной въ водородномъ пламени. Значитъ, эта вода снова исчезла, но зато появились пропавшія раньше количества кислорода и водорода. При этомъ прочія тѣла, участвовавшія въ этихъ опытахъ, не испытали никакихъ химическихъ измѣненій.

Я приведу еще одинъ болѣе сложный примѣръ, иллюстрирующій разсматриваемый законъ. Если мы сѣру приведемъ въ соприкосновеніе съ кислородомъ (напр., съ кислородомъ воздуха) и зажжемъ, то оба вещества исчезнутъ, при чемъ появится голубоватое пламя, и возникнетъ довольно тяжелый газъ съ рѣзкимъ запахомъ. Это—такъ наз. сѣрнистый газъ, хорошо извѣстный каждому. Однако, при опредѣленныхъ условіяхъ можетъ получиться совсѣмъ другое тѣло, а именно,—общеизвѣстная сѣрная кислота. Она получается или при избыткѣ кислорода, въ присутствіи воды, или тогда, когда въ пространствѣ, гдѣ совершается горѣніе, находится металлъ—платина въ той формѣ, въ которой онъ предоставляетъ окружающимъ газамъ большую поверхность. При образованіи сѣрной кислоты расходуется больше кислорода, чѣмъ при образованіи сѣрнистой кислоты, а кромѣ того—вода. Я покажу вамъ теперь, какъ можно получить изъ сѣрной кислоты,—извѣстной тяжелой, маслянистой жидкости,—твердую, желтую сѣру, газообразный кислородъ и чистую воду.

Я наливаю нѣкоторое количество концентрированной сѣрной кислоты въ колбу и буду перерабатывать небольшую часть этого количества. Прежде всего я бросаю туда нѣсколько тонкихъ стружекъ чистой мѣди, и закрываю колбу пробкой, черезъ которую проходитъ стеклянная трубка. Эта послѣдняя согнута въ дугу книзу. Я спускаю ее почти до дна въ большой пустой цилиндръ. (Рис. 20). Колбу я укрѣпляю на штативѣ, и подогрѣваю. По истеченіи нѣкотораго времени на мѣдныхъ стружкахъ начинаетъ выдѣляться газъ, и запахъ его показываетъ, что это есть сѣрнистая кислота. Въ то же время жидкость становится нѣсколько зеленоватой, мѣдныя стружки исчезаютъ, и на дно колбы осѣдаетъ бѣловатый порошокъ. Если бы мы, по окончаніи операціи, изслѣдовали, что находится въ колбѣ, то мы нашли бы, что зеленоватая окраска вызывается примѣшаннымъ къ сѣрной кислотѣ веществомъ, которое можно вполнѣ

отдѣлить отъ нея (напр., дестилляціей). Примѣсь оказывается тождественной съ осадкомъ. Слѣдовательно, лишь незначительная часть этого осадка растворена была въ сѣрной кислотѣ. Гораздо лучше растворяется онъ въ водѣ, и при этомъ растворъ пріобрѣтетъ великолѣпную голубую окраску: это есть не что иное, какъ мѣдный купоросъ. Я наливаю растворъ мѣднаго купороса въ стеклянную ванночку, въ которую погружены двѣ платиновыя пластинки. Эти пластинки я присоединю къ полюсамъ источника электричества. Вы ви-

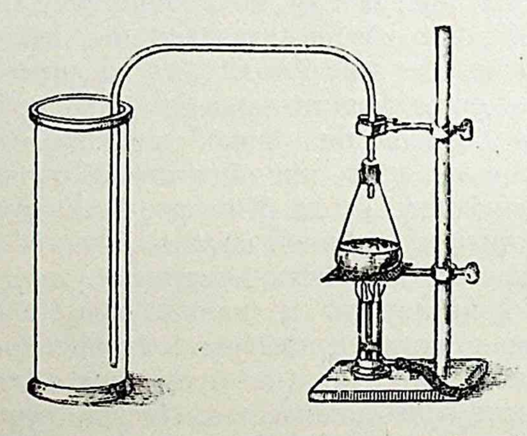


Рис. 20. Полученіе сѣрнистой кислоты изъ сѣрной кислоты.

дите, что, когда проходитъ электрическій токъ, на одной изъ платиновыхъ пластинокъ выдѣляется газъ. Этотъ газъ есть кислородъ. На другой пластинкѣ образуется налетъ изъ красноватаго металла; это—чистая мѣдь. Представимъ себѣ, что токъ будетъ проходить до тѣхъ поръ, пока здѣсь не возникнетъ такое же количество мѣди, какое было затрачено въ колбѣ въ предыдущемъ опытѣ. Тогда болѣе близкое изслѣдованіе раствора показываетъ, что изъ него исчезло какъ разъ такое количество мѣднаго купороса, какое было получено въ колбѣ, но что зато образовалась сѣрная кислота, которую мы, соотвѣтствующей дестилляціей, можемъ снова

отдѣлить отъ воды и мѣднаго купороса. Мы произвели, такимъ образомъ, обратное превращенiе мѣднаго купороса въ мѣдь. Но вернемся къ цилиндру, который мы удалили отъ аппарата, гдѣ происходитъ выдѣленiе газа, и покрыли крышкой; въ этомъ цилиндрѣ заключается сѣрнистая кислота. Эта сѣрнистая кислота и кислородъ, который, какъ мы видѣли, образовался на одной изъ платиновыхъ пластинокъ, возникли, слѣдовательно, только изъ сѣрной кислоты, безъ измѣненiя какихъ-либо другихъ тѣлъ. Вы можете себѣ легко представить, что процессъ этотъ можно прослѣдить и количественно. Это можетъ потребовать затраты нѣкотораго труда, но принципiально тутъ никакихъ трудностей не заключается. Если опредѣлить количества чистой сѣрной кислоты и примѣшанной къ ней воды въ растворахъ до начала химическихъ реакцiй и послѣ ихъ окончанiя, то окажется, что нѣкоторое количество сѣрной кислоты исчезнетъ, а нѣкоторое количество воды образуется вновь. Исчезнетъ какъ разъ такое количество сѣрной кислоты, какое могло бы быть получено вышеописаннымъ прiемомъ (при соприкосновенiи съ платиной) изъ образовавшихся сѣрнистой кислоты, кислорода и воды. Теперь дѣло только за тѣмъ, чтобы дальше разложить сѣрнистую кислоту на сѣру и кислородъ. Но для этого мнѣ понадобится еще другой газъ, который я получу изъ сѣры здѣсь на вашихъ глазахъ,—именно, такъ наз. сѣроводородъ.

Чтобы добыть этотъ газъ, я долженъ прибѣгнуть къ обходному методу. Я смѣшиваю мелко измельченную сѣру съ порошкомъ чистаго желѣза, и помѣщаю смѣсь на фарфоровый кружокъ. Теперь еще можно раздѣлить другъ отъ друга оба порошка, напр., при помощи магнита, который удалилъ бы желѣзо. Я подогрѣваю смѣсь бунзеновской горѣлкой. Сперва сѣра начинаетъ плавиться и немного испаряться; при этомъ надъ ней скользятъ маленькiе голубые язычки пламени. Затѣмъ внезапно масса накаляется въ одномъ мѣстѣ, появля-

ется длинное пламя и тотчасъ снова исчезаетъ. Если я теперь даже удалю горѣлку, то «пожаръ» мало-по-малу будетъ распространяться по всей массѣ, и мы еще много разъ увидимъ пламя, вырывающееся оттуда наподобіе взрыва. При этомъ нагрѣваніе будетъ такъ значительно, что фарфоровый кружокъ, который я могъ безъ всякой опасности держать въ пламени бунзеновской горѣлки, растрескивается на куски. Весь процессъ быстро заканчивается, и теперь передъ нами однородная черноватая масса. Сѣра и желѣзо послѣ энергичной реакціи совсѣмъ исчезли; возникло новое тѣло—такъ наз. сѣрнистое желѣзо. Я бросаю нѣкоторое количество сѣрнистаго желѣза, въ видѣ крупнаго порошка, въ кол-бу, отъ которой идетъ стеклянная трубка почти до дна цилиндра (какъ на рис. 20), и поливаю порошокъ раз-веденной сѣрной кислотой. Тотчасъ начинается энер-гичное кипѣніе, которое я могу еще усилить слабымъ подогрѣваніемъ. Выдѣляется газъ съ чрезвычайно не-пріятнымъ запахомъ, названный сѣроводородомъ. Газъ этотъ собирается въ большомъ цилиндрѣ. Въ то же время сѣрнистое желѣзо и сѣрная кислота исчезаютъ, взамѣнъ ихъ образуется новое вещество, которое можно откристаллизовать отъ избытка воды. Такимъ образомъ получаются свѣтло-зеленые кристаллы желѣзнаго купо-роса. Изъ этого послѣдняго мы можемъ, въ свою оче-редь, получить, путемъ прокаливанія, ту сѣрную кис-лоту, которая была затрачена при его образованіи. Я бросаю нѣсколько кристалликовъ въ огнеупорный ти-гель, и начну его подогрѣвать подъ тягой.

При этомъ изъ воздуха заимствуется кислородъ, и получается какой-то паръ, который можно соотвѣтствую-щими приспособленіями уловить и провести въ воду. Мы получимъ тогда сѣрную кислоту. Это, кстати ска-зать, есть наиболѣе старинный способъ изготовленія сѣр-ной кислоты, такъ какъ желѣзный купоросъ встрѣчается и въ природѣ. Если мы поставимъ количественный опытъ, то мы найдемъ, что образуется какъ разъ столько сѣр-

ной кислоты, сколько ея исчезло въ колбѣ, но что кромѣ того, оттуда исчезаетъ опредѣленная порція воды. Послѣ прокаливанія въ тиглѣ оказывается кирпично-красный порошокъ. Вы видите, что этотъ порошокъ образуетъ еще маленькіе комки формы кристалловъ, изъ которыхъ онъ возникъ. Этотъ красный порошокъ тождественепъ съ тѣмъ веществомъ, которое получается изъ бурой желѣзной ржавчины при сильномъ нагрѣваніи, и которое сообщаетъ кирпичамъ ихъ красную окраску. Его называютъ окисью желѣза. Если мы положимъ это вещество въ фарфоровую трубку, пропустимъ надъ нимъ водородъ и сильно нагрѣемъ, то оно превратится въ порошкообразное чистое желѣзо, подобное тому, которое я прежде смѣшивалъ съ сѣрой для полученія сѣрнистаго желѣза. Часть водорода при этомъ исчезаетъ, но зато образуется вода. Если сдѣлать все это очень точно и прослѣдить количественно, то получится такое же количество желѣза, какое было затрачено для изготовленія сѣрнистаго желѣза, превращеннаго въ колбѣ въ желѣзный купоросъ. Однако, воды получается больше того, сколько исчезло при предшествующихъ операціяхъ. Мы беремъ теперь этотъ избытокъ воды и подвергаемъ его дѣйствію электрическаго тока. Съ этимъ дѣйствіемъ мы уже раньше познакомились. Мы снова получаемъ, такимъ образомъ, часть водорода, затраченнаго для возстановленія окиси желѣза, а кромѣ того кислородъ, и именно какъ разъ въ такомъ количествѣ, какое было поглощено при прокаливаніи желѣзнаго купороса. Теперь мы получили обратно всѣ вещества, и при томъ какъ разъ въ тѣхъ же количествахъ, въ какихъ они были взяты, за исключеніемъ: 1) сѣры, употребленной для изготовленія сѣрнистаго желѣза, и 2) большей части водорода, которымъ мы возстановили желѣзо изъ красной окиси. Исчезновенію обоихъ этихъ веществъ соотвѣтствуетъ появленіе газа, который мы, между тѣмъ, собрали во второмъ цилиндрѣ, закрытомъ теперь стеклянной пластинкой. Чтобы

указать на способъ возникновенія этого газа, мы его называемъ сѣроводородомъ. Мы можемъ еще разъ коротко резюмировать: чтобы получить сѣроводородъ, мы выдѣлили чистое желѣзо изъ сѣрнистаго, для чего былъ примѣненъ водородъ.

Наконецъ, я беру оба цилиндра съ только-что названными газами, и ставлю ихъ одинъ на другой такъ, чтобы отверстія были обращены другъ къ другу. Если я удалю стеклянную пластинку, раздѣляющую цилиндры, то газы начнутъ смѣшиваться. Тамъ, гдѣ они встрѣчаются, тотчасъ образуется густое желтоватое облако, которое мало-по-малу увеличивается и, наконецъ, заполняетъ оба цилиндра. Въ то же время я замѣчаю, что давленіе газа внутри .сильно уменьшается; давленіе внѣшняго воздуха крѣпко прижимаетъ цилиндры другъ къ другу. Я сдвигаю верхній цилиндръ немного въ сторону, и атмосферный воздухъ тотчасъ устремляется въ открывшееся маленькое отверстіе. Стѣнки цилиндровъ покрываются влагой, а желтая пыль, образующая облако, мало-по-малу осѣдаетъ на стѣнкахъ. Что же тутъ произошло? Газы исчезли—на это указываетъ уменьшеніе давленія. Зато получились: сѣра—т. к. это она образуетъ желтое облако—и вода. Но мы уже видѣли, что изъ воды можно получить кислородъ и водородъ. Значитъ, мы имѣемъ право сказать слѣдующее: когда сѣрнистая кислота и сѣроводородъ взаимно уничтожаются, то мы получимъ сѣру, водородъ и кислородъ. Если мы прослѣдимъ этотъ процессъ количественно, то найдемъ, что образуется столько сѣры, кислорода и водорода, сколько надо затратить ихъ для обратнаго полученія уничтоженныхъ количествъ обоихъ веществъ, т.-е. сѣрнистой кислоты и сѣроводорода.

Вмѣстѣ съ тѣмъ, мы разрѣшили задачу, поставленную сначала: получить разложеніемъ сѣрной кислоты, которая была дана, сѣру, кислородъ и воду, при условіи, чтобы остальныя тѣла не измѣнились, и показать, что этихъ веществъ получится столько, сколько надо

было ихъ первоначально затратить для изготовленія даннаго количества сѣрной кислоты.

Общій законъ, который мы разсмотрѣли на этихъ примѣрахъ, можно короче формулировать слѣдующими словами: химическія превращенія обратимы. Но мы додолжны въ то же время выяснить, что сами процессы, которые ведутъ къ этимъ превращеніямъ, въ большинствѣ случаевъ необратимы. Сѣра, соединяясь съ кислородомъ, сгораетъ сама собой, и даетъ сѣрнистую кислоту. Въ то же время окружающія тѣла получаютъ извѣстное количество энергіи въ формѣ тепла («теплота горѣнія»). Однако, сѣрнистая кислота не разлагается просто, сама по себѣ, на сѣру и кислородъ. Для того, чтобы выполнить это разложеніе, надо было весьма тщательно продѣлать, какъ это мы выяснили выше, трудныя химическія реакціи, и много разъ затрачивать электрическую энергію тамъ, гдѣ простое подогрѣваніе не принесло бы пользы.

Химическія превращенія веществъ обратимы, но сами химическія реакціи, вообще, не обратимы.

Химическіе элементы.

Къ химическимъ процессамъ такъ же, какъ и ко всѣмъ явленіямъ природы, приложимъ общій законъ, въ силу котораго вѣсъ веществъ, участвующихъ въ процессѣ, въ цѣломъ не измѣняется.

Если, напр., исчезаютъ кислородъ и водородъ и появляется вода, то вѣсъ полученной воды какъ разъ будетъ равенъ суммѣ вѣсовъ исчезнувшихъ кислорода и водорода. Мы говоримъ поэтому, что вода возникаетъ при соединеніи кислорода и водорода, она есть соединеніе обоихъ этихъ веществъ. Наоборотъ—водородъ и кислородъ получаются разложеніемъ воды, они должны заключаться въ водѣ.

Существуетъ большое количество веществъ, которыя изъ всѣхъ химическихъ превращеній могутъ испыты-

вать лишь соединеніе съ другими, но которыя никакими способами не могутъ быть разложены на нѣсколько иныхъ веществъ. Эти вещества называютъ химическими элементами.

Вода не есть элементъ, но водородъ и кислородъ суть элементы. Изъ веществъ, съ которыми мы имѣли дѣло въ вышеописанныхъ примѣрахъ, кромѣ того, еще сѣра, мѣдь и желѣзо суть химическіе элементы. До настоящаго времени, по крайней мѣрѣ, не извѣстны тѣ вещества, на которыя они могли бы быть разложены.

Относительно каждаго химически-однороднаго тѣла можно сказать, изъ какихъ элементовъ оно состоитъ, и въ какихъ именно количествахъ въ немъ заключаются эти элементы. Такъ, напримѣръ, 1 граммъ воды можно разложить на 0,889 gr. кислорода и 0,111 gr. водорода; 10 gr. сѣрной кислоты на 0,204 gr. водорода, 6,531 gr. кислорода и 3,265 gr. сѣры.

Законъ кратныхъ отношеній.

Опредѣленіе вѣсовыхъ количествъ элементовъ, образующихъ соединеніе, въ громадномъ числѣ случаевъ, дало возможность установить второй общій основной законъ химіи. Этотъ законъ формулируется слѣдующимъ образомъ:

Числа, дающія отношенія вѣсовыхъ количествъ различныхъ элементовъ, входящихъ въ составъ соединенія, можно всегда представить въ видѣ нѣкотораго произведенія двухъ множителей, изъ которыхъ первый есть число, характерное для даннаго элемента, а второй—обязательно цѣлое число.

Такъ, для воды имѣемъ слѣдующее отношеніе:

Водородъ : кислородъ $= 2 : 16 = (2 \times 1) : 16$;

для сѣрной кислоты:

водородъ : кислородъ : сѣра $= 2 : 64 : 32 = (2 \times 1) :$
$: (4 \times 16) : 32$;

для сѣроводорода:

сѣра : водородъ=32 : 2=(32) : (2×1), и т. д.

Этотъ законъ называютъ закономъ кратныхъ отношеній.

Пропорція, конечно, остается правильной, если каждый членъ ея умножить на одно и то же число. Такъ, напримѣръ, пропорцію для сѣрной кислоты можно написать въ слѣдующихъ видахъ:

$$2 : 64 : 32 = 0{,}25 : 8 : 4 = 0{,}2 : 6{,}4 : 3{,}2 = 14 : 448 : 224, \text{ и т. д.}$$

Слѣдовательно, если помножить всѣ константы, характеристичныя для элементовъ, на одно и то же число, то онѣ останутся такими же правильными, какими были раньше. Водородъ имѣетъ наименьшую изъ всѣхъ этихъ константъ. Поэтому ее приняли за 1 и затѣмъ относятъ къ ней константы другихъ элементовъ. При болѣе точныхъ измѣреніяхъ за основаніе берутъ константу кислорода и полагаютъ ее равной какъ разъ 16-ти; константа водорода будетъ тогда 1,008.

Число граммъ химическаго элемента, равное его характеристичному числу, называютъ *граммъ-атомомъ*. Для краткости пишутъ граммъ-атомъ въ видѣ одного знака. Такъ, напр.:

H = 1 gr. водорода
O = 16 „ кислорода
S = 32 „ сѣры
Cu = 63,6 „ мѣди
Fe = 56 „ желѣза.

Число граммъ соединенія, равное суммѣ соотвѣтствующихъ цѣлыхъ кратныхъ граммъ-атомовъ, изъ которыхъ оно состоитъ, называютъ *граммъ-молекулой*. Граммъ-молекулу обозначаютъ слѣдующимъ образомъ: присоединяютъ къ символамъ соотвѣтствующихъ граммъ-атомовъ, въ видѣ указателей, цѣлыя числа, на которыя

эти граммъ-атомы помножаются, и пишутъ ихъ просто рядомъ другъ съ другомъ, напр.:

H_2O = 18 gr. воды
H_2SO_4 = 98 „ сѣрной кислоты
SO_2 = 64 „ сѣрнистой кислоты и т. д.

Мы можемъ теперь изобразить химическія превращенія, которыя мы недавно подробно разсматривали въ качествѣ примѣровъ, въ очень краткой, количественно-точной формѣ, при помощи «химическихъ формулъ».

1. Полученіе сѣрнистой кислоты:

$$2 \cdot H_2SO_4 + Cu = CuSO_4 + 2H_2O + SO_2.$$

2. Возстановленіе мѣди изъ мѣднаго купороса:

$$CuSO_4 + H_2O = Cu + O + H_2SO_4.$$

3. Полученіе сѣрнистаго желѣза:

$$2Fe + 2S = 2FeS.$$

4. Полученіе сѣроводорода:

$$2FeS + 2H_2SO_4 = 2H_2S + 2FeSO_4.$$

5. Обратное полученіе сѣрной кислоты изъ желѣзнаго купороса:

$$2FeSO_4 + 2H_2O + O = Fe_2O_3 + 2H_2SO_4.$$

6. Возстановленіе желѣза изъ окиси:

$$Fe_2O_3 + 6H = 2Fe + 3H_2O.$$

7. Разложеніе частицы воды:

$$H_2O = 2H + O.$$

8. Реакція при смѣшеніи сѣроводорода и сѣрнистой кислоты:

$$2H_2S + SO_2 = 3S + 2H_2O.$$

Химическая валентность.

Въ только что написанныхъ химическихъ формулахъ бросается въ глаза, что число граммъ-атомовъ различныхъ элементовъ въ аналогичныхъ соединеніяхъ, напр., H и Cu въ сѣрной кислотѣ, H_2SO_4, и мѣдномъ купоросѣ, $CuSO_4$, можетъ быть различнымъ. Поэтому мы говоримъ, напримѣръ: «1 граммъ-атомъ мѣди имѣетъ ту же химическую значность, какъ два граммъ-атома водорода», или: «мѣдь имѣетъ удвоенную валентность, или значность, по отношенію къ водороду». На практикѣ пришлось выбрать валентность водорода за основную, съ которой сравниваются валентности остальныхъ элементовъ. Поэтому водородъ и всѣ эквивалентные ему элементы называютъ одновалентными; такіе элементы, какъ мѣдь—двувалентными и т. д. Говорятъ также: «водородъ имѣетъ химическую валентность 1, мѣдь—валентность 2», и т. д. Желѣзо въ формулѣ (6) имѣетъ валентность 3, такъ какъ 2 граммъ-атома желѣза тамъ замѣняются 6 граммъ-атомами водорода, но въ формулахъ (3) и (4) желѣзо имѣетъ валентность 2. Мы видимъ изъ этого, что нѣкоторые химическіе элементы могутъ встрѣчаться съ различными валентностями. Въ этомъ случаѣ они ведутъ себя, въ отношеніи химическихъ свойствъ, настолько различно, какъ будто они являются въ различныхъ формахъ своего проявленія совершенно разными тѣлами.

Понятіе валентности расширяютъ еще слѣдующимъ образомъ: говорятъ, напримѣръ, что кислородъ долженъ быть двувалентнымъ, такъ какъ въ водѣ два граммъ-атома водорода соединены съ однимъ граммъ-атомомъ кислорода. Въ соляной кислотѣ, которая построена изъ кислорода и хлора (Cl) по формулѣ HCl, хлоръ имѣетъ валентность 1. Сѣра встрѣчается въ формулахъ FeS и H_2S съ валентностью 2, но въ формулѣ SO_2 сѣра четырехвалентна, такъ какъ она здѣсь соединена съ двумя граммъ-атомами кислорода. И дѣйствительно, сѣра въ

соединенiи SO_2 носитъ совсѣмъ другой характеръ, чѣмъ въ соединенiи H_2S.

Частное отъ дѣленiя граммъ-атома на его валентность называютъ химическимъ *граммъ-эквивалентомъ*. Примѣры химическихъ граммъ-эквивалентовъ: H, Cl, $^1/_2O$, $^1/_2Cu$, $^1/_2Fe$, или, въ формулѣ (6), $^1/_3Fe$. Иногда вычисляютъ граммъ-эквиваленты и для химическихъ соединенiй. Такъ, $^1/_2$ H_2O=9 граммъ воды, $^1/_2H_2SO_4$=49 граммъ сѣрной кислоты—суть граммъ-эквиваленты, точно такъ же, какъ и $^1/_2CuSO_4$, $^1/_6Fe_2O_3$, 1HCl, и т. д. Такъ наз. остатокъ сѣрной кислоты SO_4 равенъ двумъ граммъ-эквивалентамъ, а $^1/_2SO_4$—одному.

Ученiе объ атомахъ.

Какъ мы уже раньше видѣли (стр. 46), допускаютъ, что химически однородное тѣло построено изъ совершенно одинаковыхъ по своимъ свойствамъ молекулъ. Но изъ этого слѣдуетъ, что при химическихъ процессахъ сами молекулы испытываютъ превращенiя. Вмѣстѣ съ тѣмъ, мы уже раньше выяснили (стр. 42) разницу между химическими и физическими процессами. При химическихъ процессахъ молекулы реагирующихъ веществъ сперва вообще распадаются на нѣсколько частей, которыя затѣмъ, уже въ иныхъ группировкахъ, соединяются въ новыя молекулы. Оба основныхъ химическихъ закона, о которыхъ у насъ только что была рѣчь—если примѣнить ихъ къ этимъ молекулярнымъ процессамъ,—говорятъ намъ, что во всякой молекулѣ химическаго соединенiя находятся опредѣленныя вѣсовыя количества элементовъ, изъ которыхъ оно состоитъ; эти количества, при иныхъ химическихъ процессахъ, могутъ—цѣликомъ или частью—отщепляться. Упомянутые законы говорятъ намъ далѣе, что эти же самыя вѣсовыя количества различныхъ элементовъ, находящiяся въ молекулѣ, всегда являются цѣлыми кратными отъ нѣкоторыхъ наименьшихъ количествъ, характерныхъ для соотвѣтствующихъ

элементовъ. Эти наименьшія количества, которыя не раздробляются на части и при химическихъ процессахъ, называютъ *атомами*. Вѣса атомовъ пропорціональны граммъ-атомамъ. Поэтому число, характерное для каждаго элемента, обычно называютъ его атомнымъ вѣсомъ.

Эти слѣдствія изъ химическихъ фактовъ находятся въ полномъ согласіи съ тѣмъ, чему учитъ молекулярная теорія относительно удѣльныхъ вѣсовъ газовъ. Мы уже раньше формулировали (стр. 52) законъ Авогадро, въ силу котораго при одинаковыхъ давленіи и температурѣ удѣльные вѣса различныхъ газовъ относятся какъ молекулярные вѣса. Но эти послѣдніе относятся какъ вѣса граммъ-молекулъ, опредѣленныхъ въ прошломъ параграфѣ. Этотъ законъ Авогадро получилъ безчисленныя подтвержденія и оправдался во всѣхъ случаяхъ безъ исключенія; имъ прямо пользуются для точнаго опредѣленія количества атомовъ въ молекулѣ. Напримѣръ: относительно молекулы воды химическій анализъ говоритъ намъ только, что въ ней всегда на 2 вѣсовыя части водорода приходится 16 вѣсовыхъ частей водорода. Но соотвѣтствуетъ ли это соединенію H_2O, или H_4O_2, или H_6O_3—этого сразу нельзя рѣшить. Если же мы опредѣлимъ вѣсъ газообразной воды (т.-е. водяного пара), то найдемъ, что при 100^0 и одной атмосферѣ давленія:

1 литръ водяного пара вѣситъ 0,599 gr.,

при тѣхъ же условіяхъ:

1 литръ кислорода вѣситъ 1,045 gr.
1 „ водорода „ 0,066 „

Эти числа относятся между собой, какъ 18 : 32 : 2.

Различные факты показали, что молекулы газообразныхъ химическихъ элементовъ чаще всего состоятъ изъ двухъ атомовъ. Если мы, сообразно съ этимъ, примемъ въ качествѣ формулъ для водорода и кислорода H_2 и O_2, то найдемъ для водяного пара: H_2O.

Послѣ этихъ поясненій мы можемъ сказать, что

граммъ-молекула какого-либо вещества есть такое его количество, которое всегда заключаетъ одно и то же число молекулъ ν, *каково бы ни было разсматриваемое соединенie. Точно такъ же граммъ-атомъ заключаетъ въ себѣ постоянно* ν *дѣйствительныхъ атомовъ*. Слѣдовательно, ν есть универсальное число. Его можно легко вычислить, зная Лошмидтово число. Дѣйствительно: 1 граммъ-молекула водорода H_2 вѣситъ 2 gr., или, если мы захотимъ вычислить совершенно точно, согласно съ новѣйшимъ опредѣленiемъ атомныхъ вѣсовъ,—2,016 gr. (ср. стр. 113); одинъ кубич. сантиметръ при 0^0 и 760 mm. давленiя вѣситъ 0,00 008 985 gr. Отсюда сразу получается отношенie $N : \nu = 0{,}00\,008\,985 : 2{,}016$, и $\nu = 22\,330$ N. Число атомовъ въ химическомъ граммъ-эквивалентѣ равно ν, раздѣленному на валентность. Слѣдовательно, въ граммъ-эквивалентѣ водорода, кислорода и мѣди заключается соотвѣтственно ν, $^1/_2\nu$ и $^1/_3\nu$ атомовъ.

Химическiй элементъ есть тѣло, молекулы котораго состоятъ изъ атомовъ совершенно одинаковаго рода. Иногда случается, что элементъ распадается на нѣсколько тѣлъ, но эти тѣла будутъ тогда тождественны между собой. Такъ, напримѣръ, существуетъ вещество, названное озономъ, которое образуется изъ чистаго кислорода при пропусканiи черезъ него электрическихъ разрядовъ. Озонъ, въ противоположность кислороду, обладаетъ очень сильнымъ запахомъ, который извѣстенъ всякому, кто когда-либо наблюдалъ большiя электрическiя искры. Озонъ отличается и по инымъ химическимъ свойствамъ отъ кислорода; онъ сильно разрушаетъ большинство тѣлъ, напр., обезцвѣчиваетъ краски. Но, когда онъ распадается, то образуетъ только чистый кислородъ. Такимъ образомъ, озонъ также является химическимъ элементомъ; именно, онъ тождественъ съ обыкновеннымъ кислородомъ. Былъ опредѣленъ его молекулярный вѣсъ, и тогда выяснилось, что этотъ вѣсъ ровно въ полтора раза больше, чѣмъ у кислорода. Слѣдовательно, химическая формула озона есть O_3.

Относительно того, какъ атомы соединяются въ молекулы, химическіе факты не могутъ прямо дать какихъ-либо указаній. Простѣйшее представленіе состояло бы въ томъ, что атомы суть тѣльца, которыя остаются неизмѣнными и при химическихъ превращеніяхъ, и которыя, располагаясь извѣстнымъ образомъ, образуютъ молекулы. Существуетъ множество фактовъ, которые указываютъ на то, что это представленіе правильно, и потому оно является общепринятымъ. На этомъ основаніи для малѣйшихъ количествъ матеріи выбрано то же названіе: «атомы», которое далъ Демокритъ своимъ неизмѣннымъ элементарнымъ частицамъ.

Какъ уже было упомянуто, съ этимъ представленіемъ согласуется тотъ фактъ, что газовыя молекулы, вообще, ведутъ себя не какъ упругіе шарики, но какъ тѣльца, которыя состоятъ изъ многихъ болѣе или менѣе подвижныхъ отдѣльныхъ частицъ. Но существуютъ газы, которые, какъ показываетъ опредѣленіе ихъ плотности, должны разсматриваться какъ «одноатомные», т.-е. какъ элементы, молекулы которыхъ заключаютъ въ себѣ только по одному атому. Сюда въ особенности принадлежатъ почти всѣ изученные пары металловъ, напр., пары ртути, цинка, кадмія. Какъ показало изслѣдованіе нѣкоторыхъ физическихъ свойствъ ртутныхъ паровъ, представленіе объ ихъ молекулахъ, какъ о гладкихъ билліардныхъ шарикахъ, является вполнѣ отвѣчающимъ опыту. То же представленіе справедливо для сравнительно недавно открытой группы газообразныхъ химическихъ элементовъ, «недѣятельныхъ» элементовъ, которые вообще не образуютъ никакихъ химическихъ соединеній, и которые поэтому существуютъ только въ формѣ отдѣльныхъ атомовъ. Наиболѣе извѣстными изъ этихъ элементовъ являются гелій и аргонъ.

Спектры атомовъ.

И все-таки представленіе объ атомахъ, какъ объ однородныхъ гладкихъ шарикахъ, тоже лишь грубая рабо-

чая гипотеза. Существуютъ факты, которые съ полной очевидностью доказываютъ, что атомы въ физико-химическомъ отношенiи не являются такими простыми вещами, какъ демокритовы первичныя частицы. Подобные факты мы узнаемъ, изслѣдуя, напр., свѣтъ, который при извѣстныхъ обстоятельствахъ излучаютъ атомы.

Я пропускаю свѣтъ электрической дуговой лампы черезъ щель, приблизительно въ миллиметръ шириной, и, при помощи соотвѣтствующей линзы, проектирую изображенiе щели на стѣну. Теперь я ставлю на пути свѣтовыхъ лучей призму. Какъ всякiй знаетъ, свѣтъ отклоняется призмой, и мы получаемъ поэтому изображенiе щели на экранѣ, поставленномъ сбоку. Но это преломленное изображенiе не будетъ уже узкимъ и бѣлымъ; оно будетъ растянуто въ ширину и окрашено въ слѣдующiе цвѣта: красный, оранжевый, желтый, зеленый, голубой, синiй и фiолетовый. Какъ извѣстно, это изображенiе называютъ спектромъ. Если щель будетъ достаточно узка, а экранъ—достаточно удаленъ, то всякая узкая полоска, которую я могу выдѣлить изъ спектра, будетъ окрашена въ однородный цвѣтъ. Болѣе того: окраска эта будетъ гораздо болѣе однородной, чѣмъ та, которую мы раньше получали при помощи цвѣтныхъ стеколъ. Если я освѣщу щель подобнымъ однороднымъ свѣтовымъ лучомъ, и передъ этой щелью снова поставлю призму, то больше уже не образуется многоцвѣтный спектръ, но свѣтовые лучи, пройдя призму, дадутъ на экранѣ рѣзкое изображенiе щели какъ разъ на томъ самомъ мѣстѣ, гдѣ мы увидѣли бы въ спектрѣ соотвѣтствующiй цвѣтъ, если бы освѣтили щель бѣлымъ свѣтомъ. Призма даетъ средство разложить смѣшанный цвѣтъ на однородные, изъ которыхъ онъ состоитъ. Этотъ анализъ свѣта при помощи призмы мы называемъ спектральнымъ анализомъ. Мы видимъ, такимъ образомъ, что обыкновенный бѣлый свѣтъ можно разсматривать, какъ смѣсь безконечно большого числа всевозможныхъ цвѣтовъ. Теперь я нѣсколько отодви-

гаю накаленный до-бѣла уголь, свѣтомъ котораго мы до сихъ поръ пользовались. Дѣлаю я это при помощи мѣдной проволоки, которую держу въ лампѣ. Вслѣдствіе того, что проволока эта мѣдная, та свѣтлая дуга, которая въ видѣ пламени соединяетъ оба угля лампы, пріобрѣтаетъ интенсивную голубовато-зеленую окраску. Свѣтъ, исходящій теперь изъ лампы, есть, главнымъ образомъ, свѣтъ самой дуги, которая отъ присутствія паровъ мѣди пріобрѣла зеленую окраску. Я проектирую теперь спектръ этого свѣта. Вы не видите уже больше непрерывной цвѣтной ленты, но передъ вами цѣлое множество отдѣльныхъ полосокъ, преимущественно синихъ и голубыхъ. Слѣдовательно, свѣтъ, излучаемый парами мѣди, не состоитъ уже больше изъ множества непрерывно переходящихъ другъ въ друга однородныхъ цвѣтовъ, но составленъ изъ ряда отдѣльныхъ, рѣзко раздѣленныхъ цвѣтовъ. Въ извѣстномъ смыслѣ этотъ свѣтъ подобенъ тому, который издаетъ музыкальный инструментъ; въ то время, какъ немузыкальный шумъ, напр., завыванія вѣтра, является смѣсью разнообразнѣйшихъ чистыхъ тоновъ, музыкальный звукъ состоитъ только изъ опредѣленнаго чистаго основного тона и его обертоновъ. Свѣтъ, излучаемый накаленными парами мѣди, обладаетъ, такимъ образомъ, особыми свойствами. Точно такими же свойствами обладаетъ свѣтъ, излучаемый парами другихъ металловъ и, кромѣ того, газами въ гейслеровскихъ трубкахъ. Мы знаемъ, что пары металловъ,—насколько они въ этомъ отношеніи изслѣдованы,—являются одноатомными тѣлами. Поэтому колеблющіяся частицы, которыя вызываютъ свѣтъ такой своеобразной окраски, въ этомъ случаѣ суть сами атомы. Значитъ, атомы могутъ совершать весьма сложныя колебанія. Вы сами видѣли, что свѣтъ, излучаемый атомами мѣди, напримѣръ, состоитъ изъ большого числа разнообразныхъ колебаній. Во многихъ случаяхъ уже удалось установить, что между отдѣльными колебаніями свѣта, который излучаетъ атомъ, существуетъ ясная за-

кономѣрная зависимость. Это, однако, не та зависимость, которая связываетъ основной тонъ и обертоны музыкальнаго звука. Эту послѣднюю мы можемъ формулировать слѣдующимъ образомъ: если число колебаній въ секунду, т.-е. число, которое показываетъ, какъ часто повторяются въ теченіе секунды періодическія сгущенія воздуха, для основного тона равно Z, то числа колебаній одновременно испускаемыхъ обертоновъ будутъ: 2Z, 3Z, 4Z, и т. д. Чѣмъ больше число колебаній, тѣмъ слабѣе будетъ соотвѣтствующій обертонъ. Поэтому практически рядъ, въ концѣ-концовъ, прекращается, но теоретически число обертоновъ безконечно велико, а ихъ высота переходитъ всякія границы.

Изъ всѣхъ спектровъ наиболѣе простая закономѣрность обнаруживается въ спектрѣ водорода. Если изслѣдовать свѣтъ, излучаемый гейслеровой трубкой съ водородомъ при прохожденіи электрическаго разряда, если изслѣдовать этотъ свѣтъ призмой, то можно замѣтить три свѣтлыя линіи: красную, зеленую, голубую, и еще двѣ линіи въ фіолетовой части спектра. Смѣривши длины волнъ, соотвѣтствующія всѣмъ линіямъ, и вычисливши отсюда числа колебаній, можно убѣдиться, что всѣ эти числа охватываются одной очень простой формулой, такъ называемой формулой Бальмера. Дѣйствительно, числа колебаній имѣютъ слѣдующія значенія для цвѣтовъ:

Краснаго	Зеленаго	Голубого	Фіолетоваго I
$N\left(\frac{1}{4}-\frac{1}{9}\right)$;	$N\left(\frac{1}{4}-\frac{1}{16}\right)$;	$N\left(\frac{1}{4}-\frac{1}{25}\right)$;	$N\left(\frac{1}{4}-\frac{1}{36}\right)$;

Фіолетоваго II

$$N\left(\frac{1}{4}-\frac{1}{49}\right),$$

Слѣдовательно, вообще:

$$Z = N\left(\frac{1}{4}-\frac{1}{n^2}\right); \quad (n = 3,\ 4,\ 5,\ 6,\ 7).$$

N обозначаетъ здѣсь постоянное число (кстати сказать, равное 329 милліонамъ). При подстановкѣ въ эту формулу Бальмера дальнѣйшихъ чиселъ, т.-е. 8, 9, 10..., получаются числа колебаній такихъ видовъ свѣта, которые также излучаются атомомъ водорода, но которые являются настолько слабыми, что обычно, за исключеніемъ нѣкоторыхъ, совершенно особенныхъ случаевъ, бываютъ незамѣтными. Практически этотъ рядъ на извѣстномъ членѣ обрывается, потому что при возрастаніи n интенсивности становятся все меньше, но теоретически его, какъ и въ случаѣ обертоновъ, можно продолжать безъ конца. Замѣчательно при этомъ, то, что числа колебаній здѣсь не становятся, какъ у обертоновъ, безконечно большими, они всегда остаются меньшими $^1/_4$N, такъ какъ для большихъ n величина $^1/n^2$ до крайности мала. Это и было дѣйствительно установлено весьма тщательными наблюденіями, которыя произвелъ Эверсхедъ надъ спектромъ водорода въ солнечныхъ протуберанцахъ. Значеніе $^1/_4$N есть точка сгущенія въ рядѣ чиселъ колебаній: вблизи отъ этой точки спектральныя линіи расположены безконечно близко другъ къ другу. Свѣтъ, обладающій такимъ числомъ колебаній, имѣетъ длину волны 0,3467 μ, что соотвѣтствуетъ окраскѣ, лежащей на самой границѣ фіолетоваго цвѣта. Длины волнъ линій водорода имѣютъ слѣдующія значенія:

$n=3$	4	5	6	7	8		∞
0,6563 μ	0,4861 μ	0,4340 μ	0,4102 μ	0,3968 μ	0,3893 μ	...	0,3647 μ

Но это не есть единственная особенность, которая существенно отличаетъ колебанія атомовъ отъ колебаній звучащаго тѣла. У большинства атомовъ наблюдаются не только одинъ рядъ, или «серія» колебаній, которая дается одной формулой. Такихъ серій, а слѣдовательно и формулъ, существуетъ три, при чемъ онѣ связаны между собою простыми математическими соотношеніями. Для водорода извѣстна вторая серія, формула которой очень сходна съ формулой Бальмера. Но она наблю-

дается только въ спектрахъ нѣкоторыхъ туманныхъ пятенъ. Здѣсь еще не достаетъ третьей серіи. Эти серіи, которыя наблюдаются почти во всѣхъ остальныхъ хорошо извѣстныхъ спектрахъ, различаютъ названіями: главная серія, первая побочная серія, вторая побочная серія. Онѣ слѣдуютъ закону, подобному тому, который имѣетъ мѣсто для обѣихъ серій водорода, и постоянно заканчиваются точками сгущенія. Но, во всякомъ случаѣ, законъ этотъ вообще не выражается точно такой простой формулой, какъ Бальмерова. Далѣе, у большинства элементовъ линіи каждой серіи еще расщепляются на двѣ (дублетъ) или на три (триплетъ), и для разности колебаній, соотвѣтствующихъ отдѣльнымъ линіямъ дублета или триплета, можно найти множество интересныхъ и простыхъ закономѣрностей.

Такимъ образомъ, очевидно, что атомъ является совершенно своеобразной системой; онъ совершаетъ при излученіи свѣта колебанія совершенно иного рода, по сравненію съ тѣми, которыя совершаетъ какой-либо музыкальный инструментъ, издавая звукъ. Но какова его структура, какъ могли бы быть объяснены на основаніи этой структуры особенности его колебаній,—это для насъ еще совершенно загадочно. Несомнѣнно только то, что пока спектры атомовъ являются единственными источниками свѣдѣній о нихъ. Можно надѣяться, что изученіе этихъ спектровъ позволитъ разработать болѣе правильное представленіе о сущности атомовъ.

Періодическая система элементовъ.

Существуетъ закономѣрность, которая при дальнѣйшемъ прогрессѣ науки, вѣроятно, сыграетъ большую роль. Однако, въ настоящее время она представляется для насъ такой же странной и малопонятной, какъ голосъ изъ неизвѣстной, таинственной области, который говоритъ намъ, что мы могли бы тутъ увидѣть много чудесныхъ вещей, если бы знали, какъ туда проникнуть.

Закономѣрность эта состоитъ въ слѣдующемъ: если мы расположимъ атомные вѣса всѣхъ извѣстныхъ элементовъ въ возрастающій рядъ, то мы замѣтимъ, прежде всего, что разность между каждыми двумя сосѣдними членами этого ряда имѣетъ приблизительно постоянную величину, а именно: она заключается въ предѣлахъ между 1 и 4, хотя величины атомныхъ вѣсовъ возрастаютъ отъ 1 до 240. Въ нѣкоторыхъ мѣстахъ этого ряда, однако, существуютъ бо̀льшіе пробѣлы. Исходя изъ хорошо обоснованныхъ соображеній, допускаютъ, что тутъ недостаетъ еще неизвѣстныхъ элементовъ. Первые элементы этого ряда суть водородъ (H=1), гелій (He=4) и литій (Li=7). Водородъ стоитъ въ рядѣ элементовъ одиноко, но начиная съ гелія наблюдается, что черезъ извѣстное число элементовъ постоянно періодически повторяются такіе, которые являются химически подобными стоящему на первомъ мѣстѣ. Эта закономѣрность настолько поразительна, что ученый, открывшій ее, русскій химикъ Д. И. Менделѣевъ, могъ даже отважиться предсказать существованіе элементовъ, не достающихъ въ тѣхъ мѣстахъ періодически повторяющихся рядовъ, гдѣ видимо отсутствовалъ какой-либо членъ, и онъ не только приблизительно далъ ихъ атомные вѣса, но и въ общихъ штрихахъ описалъ напередъ ихъ свойства. Эти предсказанія Менделѣева впослѣдствіи были многократно подтверждены: предсказанные элементы были открыты, и у нихъ можно было обнаружить какъ разъ требуемыя свойства. Тѣмъ не менѣе, кое-что въ «періодической системѣ элементовъ» еще не совсѣмъ удовлетворительно. Прежде всего бросается въ глаза уединенное положеніе водорода; далѣе, у элементовъ съ большими атомными вѣсами (бо̀льшими 150) періодичность очень не ясна. Но что закономѣрность тутъ существуетъ, это—внѣ всякаго сомнѣнія; она, эта закономѣрность, указываетъ на связь между отдѣльными элементами, пока совершенно таинственную для насъ.

Однако, дальнѣйшее изслѣдованіе атомовъ осязаемой

матеріи безнадежно, если не разсматривать ихъ постоянно въ соединеніи съ неосязаемой субстанціей, въ которой они находятся, именно—съ вакуумомъ, или, какъ его иначе называютъ, съ міровымъ эфиромъ.

---

5. Міровой эфиръ.

Вакуумъ, окружающій атомы и молекулы, при всѣхъ физическихъ процессахъ вступаетъ съ ними во взаимодѣйствіе. Поэтому прежде, чѣмъ можно будетъ надѣяться глубже понять свойства матеріальныхъ атомовъ, необходимо хорошо знать физическія особенности вакуума. Для того, чтобы выразить, что вакуумъ разсматривается не какъ пустое геометрическое пространство, но скорѣе какъ дѣйствительная физическая субстанція, какъ объектъ физическаго изслѣдованія, ему дали особое названіе: «міровой эфиръ». Правда, это названіе въ послѣднее время совсѣмъ потеряло довѣріе. Произошло это оттого, что постепенно образовалась привычка примѣнять къ эфиру, какъ нѣчто само собой разумѣющееся, всѣ механическія понятія, заимствованныя изъ изученія осязаемой матеріи, а, въ концѣ-концовъ, оказалось, что этого нельзя дѣлать. Но если мы съ самаго начала въ качествѣ основного принципа изслѣдованія примемъ за правило руководствоваться, при нашихъ заключеніяхъ о природѣ изучаемыхъ объектовъ, лишь экспериментально добытыми фактами, а не какими бы то ни было предвзятыми мыслями, то мы сможемъ придерживаться стараго добраго названія «міровой эфиръ», и оно не приведетъ насъ на ложный путь.

Міровой эфиръ есть носитель свѣта.

Что вообще можно производить экспериментальныя изслѣдованія вакуума, это стало извѣстно вовсе не такъ

давно. Въ теченіе долгаго времени наши свѣдѣнія о вакуумѣ ограничивались только однимъ,—именно тѣмъ, что излученіе свѣта состоитъ въ процессахъ, которые не связаны съ наличностью осязаемаго вещества, которые, такимъ образомъ, совершаются въ вакуумѣ. Кромѣ того, было извѣстно, что процессы, которые воспринимаются какъ свѣтъ, протекаютъ закономѣрно-періодически. Въ предыдущихъ главахъ мы уже ознакомились съ большей частью относящихся сюда примѣровъ. Точно такъ же было извѣстно, что волнообразный процессъ свѣта распространяется въ эфирѣ съ совершенно опредѣленной скоростью 300 000 km./sec. Какъ скорость звука есть физическое свойство матеріальной среды, поддающееся количественному учету, такъ и скорость свѣта количественно изображаетъ одно изъ свойствъ эфира. Тѣмъ не менѣе самая сущность природы свѣтовыхъ волнъ въ теченіе долгаго времени оставалась очень загадочной. Что именно періодически измѣняется въ средѣ, передающей звукъ,—извѣстно давно. Это—давленіе и сдвигъ частицъ среды во всѣхъ тѣхъ мѣстахъ, въ которыхъ проходятъ звуковыя волны. Надъ упругими натяженіями и движеніями матеріальныхъ тѣлъ можно производить разнообразнѣйшіе опыты, и законы ихъ измѣненія, независимо отъ звуковыхъ волнъ, извѣстны точнѣйшимъ образомъ. Но до сравнительно недавняго времени для насъ оставалось еще загадочнымъ, какія періодическія измѣненія эфира даютъ явленіе свѣтовыхъ волнъ. Казалось даже въ высшей степени сомнительнымъ, что эфиръ когда-либо станетъ доступнымъ какому-нибудь изслѣдованію, кромѣ изслѣдованія связи его со свѣтомъ, что, такимъ образомъ, едва ли когда-либо удастся открыть законы физики эфира въ болѣе общей формѣ.

Эфиръ неосязаемъ.

И, дѣйствительно, какъ можно было надѣяться когда-либо изслѣдовать среду, которую нельзя изолировать

для болѣе близкаго изученія въ закрытомъ сосудѣ, какъ это дѣлаютъ съ осязаемыми веществами? Въ самомъ дѣлѣ, подъ эфиромъ мы должны подразумѣвать вакуумъ, т.-е. то, что остается, когда мы удаляемъ изъ извѣстной области пространства всѣ молекулы осязаемой матеріи. Этотъ вакуумъ по своей природѣ, очевидно, таковъ, что онъ не можетъ самъ по себѣ передвигаться, его нельзя, напримѣръ, перелить изъ одного сосуда въ другой. Поэтому, эфиръ не можетъ быть ни взвѣшенъ, ни какимъ бы то ни было способомъ химически изслѣдованъ: *онъ, въ истинномъ смыслѣ этого слова, невѣсомъ и не принадлежитъ къ числу химическихъ веществъ*. Даже понятіе движенія, которое въ физикѣ осязаемыхъ веществъ имѣетъ фундаментальное значеніе, по только что сказанному, къ эфиру вовсе не примѣнимо. Уже много разъ пытались установить опытнымъ путемъ, не происходитъ ли въ вакуумѣ какихъ-либо измѣненій при движеніи тѣлъ въ пространствѣ. Какіе-либо потоки вакуума можно было бы обнаружить, напримѣръ, благодаря тому, что свѣтовой лучъ ими нѣсколько увлекался бы, точно такъ же, какъ вѣтеръ относитъ звукъ въ воздухѣ. Но даже наиболѣе тщательныя измѣренія никогда не обнаруживали ни малѣйшаго увлеченія. Этимъ самымъ экспериментально установлено, что эфиръ не переносится движущейся матеріей. Другое убѣдительное доказательство этого можно найти въ томъ, что матерія движется въ вакуумѣ безъ малѣйшаго сопротивленія со стороны его, какъ показываютъ законы планетныхъ движеній. Отсюда вытекаетъ, что міровой эфиръ и атомы не могутъ быть другъ для друга непроницаемыми. *Поэтому, оба основныхъ понятія физики матеріи: непроницаемость и подвижность—къ міровому эфиру, вообще, не приложимы; онъ неосязаемъ и неподвиженъ*.

Существуетъ только одна возможность представить себѣ, что эфиръ и атомы другъ для друга проницаемы. Частичка пространства, заполненная атомомъ, должна

являться въ то же время частицей эфира. Поэтому, атомъ есть только опредѣленнымъ образомъ ограниченная часть эфира, обладающая совершенно особыми свойствами. Если какимъ-нибудь образомъ въ этой области эфиръ будетъ снова приведенъ въ свое обычное состояніе чистаго вакуума, то мы должны себѣ представить, что непосредственно рядомъ опять возникнетъ область съ особыми свойствами такой же величины. Поэтому, особое состояніе эфира, господствующее въ данной области, не можетъ быть просто уничтожено, оно можетъ мѣнять только мѣсто, и оно остается при этомъ ограниченнымъ строго опредѣленной областью—объемомъ атома. Мы будемъ позже еще говорить о томъ, что до сихъ поръ извѣстно о природѣ этихъ индивидуально-существующихъ особыхъ точекъ въ эфирѣ, которыя мы воспринимаемъ, какъ атомы.

Эфиръ не есть матерія.

Чистый эфиръ, какъ таковой, вообще не ощутимъ. Его внутреннія измѣненія никогда нельзя замѣтить на немъ самомъ. Эта особенность, которая, быть можетъ, является особенно злополучной для изслѣдованія эфира, находится въ тѣсной связи съ неподвижностью его. Какія-либо измѣненія состоянія осязаемыхъ тѣлъ, напр., измѣненія упругихъ напряженій или температуры, всегда соединены съ общимъ измѣненіемъ физическихъ свойствъ тѣла, и поэтому они доступны непосредственному наблюденію. Происходитъ это оттого, что при всякомъ измѣненіи состоянія всегда мѣняется и относительное положеніе тѣхъ элементарныхъ частицъ (атомовъ), изъ которыхъ построено тѣло. Такимъ образомъ, по окончаніи процесса получается, въ извѣстномъ смыслѣ, новое вещество. Измѣненія состоянія въ вакуумѣ, о которыхъ дальше будетъ подробно идти рѣчь, не связаны съ перемѣщеніями его мельчайшихъ частицъ, такъ какъ вакуумъ, во-первыхъ, вообще не имѣетъ атомистиче-

скаго строенія, а, во-вторыхъ, неподвиженъ. Вслѣдствіе этого физическія свойства вакуума не измѣняются, когда въ немъ производятъ какой-нибудь физическій процессъ. Такъ, напримѣръ, наиболѣе извѣстная характеристика чистаго вакуума—скорость свѣта—есть строго постоянная величина; никакія вліянія на вакуумъ не могутъ ее измѣнить. Наоборотъ, въ осязаемыхъ тѣлахъ всѣ оптическія и механическія свойства, какъ уже сказано, зависятъ отъ состоянія матеріи, и ихъ измѣненія служатъ при экспериментальномъ изслѣдованіи для того, чтобы съ помощью ихъ установить измѣненія состоянія самой матеріи.

Во-вторыхъ, въ чистомъ вакуумѣ нельзя также замѣтить какихъ-либо мѣстныхъ различій. Насколько мы знаемъ, эфиръ во всей вселенной, въ астрономически-громадныхъ и микроскопически-малыхъ частяхъ пространства, всюду однороденъ. Но къ понятію о матеріи насъ привело исключительно наблюдаемое разнообразіе въ мірѣ тѣлъ (стр. 6). Слѣдовательно, *чистый* эфиръ, во-первыхъ, не имѣетъ никакихъ свойствъ, общихъ со свойствами осязаемой матеріи. И даже, во-вторыхъ, если мы хотимъ быть строго логичными, мы не должны его считать матеріей, или веществомъ, такъ какъ онъ не испытываетъ никакихъ видоизмѣненій, а потому не можетъ быть осязаемымъ. Правда, мы видѣли выше, что мы должны разсматривать атомы, какъ *видоизмѣненный* эфиръ; они образуютъ, поэтому, ощутимыя матеріальныя тѣла. Но сейчасъ мы говоримъ только о *чистомъ* эфирѣ.

Чистый эфиръ имѣетъ абсолютно неизмѣнныя свойства во всей вселенной; онъ всюду однороденъ, и потому его нельзя считать матеріей.

На этомъ единствѣ и неизмѣнности мірового эфира покоится тотъ порядокъ и та простая, ясная закономѣрность мірового цѣлаго, безъ которыхъ вся наша научная работа была бы навѣки безнадежна.

Міровой эфиръ и матерія.

Прежде, чѣмъ итти дальше, не мѣшаетъ еще разъ серьезно поставить вопросъ, имѣетъ ли смыслъ говорить о физической субстанціи, которая въ сущности не является веществомъ. Какимъ образомъ подобная субстанція можетъ быть вообще предметомъ физическаго изслѣдованія? Не должны ли мы ее замѣнить лучшей, болѣе естественной системой понятій?

Какъ уже выше было упомянуто, тотъ фактъ, что свѣтъ распространяется въ пустотѣ, впервые заставилъ насъ представлять себѣ вакуумъ, какъ субстанцію, какъ міровой эфиръ. Наше первое, непосредственное заключеніе изъ наблюденій состоитъ въ томъ, что осязаемое тѣло (напр., солнце) теряетъ энергію, находясь въ абсолютномъ вакуумѣ, значитъ, не соприкасаясь ни съ какой иной матеріей, и что другія тѣла, значительно отъ него удаленныя, эту энергію воспринимаютъ. Первое тѣло излучаетъ, второе—поглощаетъ это излученіе. Далѣе, изъ наблюденія конечной скорости свѣта слѣдуетъ, что переходъ энергіи отъ одного тѣла къ другому длится опредѣленное время, въ теченіе котораго энергія находится въ чистомъ вакуумѣ. Это неизбѣжно приводитъ насъ къ заключенію, что чистый вакуумъ можетъ быть ареной извѣстныхъ физическихъ процессовъ. Хотя мы не можемъ непосредственно убѣдиться въ этомъ, но если бы дѣло обстояло иначе, то явленія, которыя мы наблюдаемъ у осязаемыхъ тѣлъ, оставались бы совершенно необъяснимыми. Такимъ образомъ, мы дѣлаемъ заключенія отъ нашихъ наблюденій надъ осязаемыми тѣлами, къ неощутимымъ процессамъ въ вакуумѣ. Свѣдѣнія о природѣ свѣта, которыя наука пріобрѣла этимъ способомъ, и краткій очеркъ которыхъ данъ былъ въ предыдущихъ главахъ, доказываютъ, что путемъ такого косвеннаго изслѣдованія процессовъ въ эфирѣ можно итти далеко впередъ.

Однако, не только процессы излученія свѣта въ мате-

ріи и соотвѣтствующіе процессы въ вакуумѣ являются тѣсно связанными между собой. Можно отыскать еще много иныхъ взаимоотношеній, которыя доступны экспериментальному изслѣдованію и потому могутъ косвеннымъ путемъ привести къ дальнѣйшимъ заключеніямъ о природѣ эфира. Сюда принадлежатъ, прежде всего, силы, дѣйствующія на разстояніи. Понятіе силы заключаетъ въ себѣ первоначально представленіе о взаимодѣйствіи двухъ соприкасающихся матеріальныхъ тѣлъ. Если я, напримѣръ, тяну какой-нибудь предметъ, то и этотъ послѣдній, въ свою очередь, тянетъ меня въ противоположномъ направленіи. Всякой силѣ соотвѣтствуетъ другая, направленная въ противоположную сторону; всякому дѣйствію—противодѣйствіе. Сила можетъ дѣйствовать дальше на другія тѣла, но при этомъ принципъ равенства дѣйствія и противодѣйствія остается справедливымъ. Когда, напримѣръ, лошадь тянетъ веревку, которая прикрѣплена къ повозкѣ, то мы имѣемъ, съ одной стороны, дѣйствіе и противодѣйствіе между лошадью и веревкой, а, съ другой стороны, такое же дѣйствіе и противодѣйствіе между веревкой и повозкой. Веревка передаетъ силу лошади повозкѣ. При этомъ веревка, являясь передатчикомъ силы, находится въ особомъ характерномъ состояніи, интенсивность котораго можетъ служить мѣрой передаваемой силы: она оказывается въ состояніи упругаго напряженія, и въ то же время деформированной, именно, слегка растянутой. Однако, пользуясь такимъ нагляднымъ понятіемъ силы, мы наталкиваемся, въ случаѣ силъ, дѣйствующихъ на разстояніи, на затрудненія. Мы наблюдаемъ, напримѣръ, что положительно и отрицательно наэлектризованныя тѣла дѣйствуютъ другъ на друга съ извѣстной силой, при чемъ матеріальные передатчики этой силы отсутствуютъ. Связующимъ звеномъ между обоими тѣлами можетъ служить абсолютный вакуумъ. Со временъ Максвелла, физики вполнѣ усвоили привычку дѣйствительно считать вакуумъ передатчикомъ этой силы. Вакуумъ

образуетъ въ этомъ случаѣ, если угодно, невидимую натянутую веревку, которая тянетъ другъ къ другу противоположно заряженныя тѣла.

Съ подобнымъ, грубо-нагляднымъ способомъ изложенія, надо быть весьма осмотрительнымъ, ибо совершенно очевидно, что между эфиромъ и матеріальнымъ тѣломъ, какъ передатчиками силы, существуетъ колоссальная разница. О силахъ дѣйствія и противодѣйствія между эфиромъ и заряженнымъ тѣломъ, въ томъ смыслѣ, въ которомъ мы употребляли эти понятія въ случаѣ соприкасающихся матеріальныхъ тѣлъ, не можетъ быть и рѣчи. Ибо понятіе механической силы для среды такого характера, какъ вакуумъ, который не обладаетъ, вообще, никакими механическими свойствами, само собой разумѣется, теряетъ всякій смыслъ. Мы можемъ, конечно, установить, что вакуумъ дѣйствуетъ съ извѣстной силой на электрически-заряженное тѣло. Что же касается до силы противодѣйствія, то мы можемъ только принять, что тѣло приводитъ эфиръ въ особое состояніе, которое по аналогіи съ тѣмъ, что мы видимъ въ матеріальныхъ передатчикахъ силы, обычно называютъ электрическимъ напряженіемъ эфира. Естественно, что вслѣдствіе неизмѣнности эфира, электрическое напряженіе никогда не можетъ быть обнаружено наблюденіями надъ самимъ эфиромъ; оно остается понятіемъ, лишеннымъ непосредственной наглядности. Электрическое напряженіе эфира наблюдается косвеннымъ путемъ на тѣхъ силахъ, которыя испытываютъ электрически-заряженныя ощутимыя тѣла въ мѣстахъ, гдѣ эфиръ находится въ состояніи напряженія. И, дѣйствительно, какъ мы убѣдимся ниже, этихъ наблюденій силъ, дѣйствующихъ на ощутимыя тѣла, оказывается вполнѣ достаточно для того, чтобы совершенно опредѣленнымъ, однозначнымъ образомъ установить и измѣрить то особое состояніе эфира, которое открылось намъ, благодаря упомянутымъ наблюденіямъ.

Однако, можно поднять вопросъ, стоитъ ли давать

проблемѣ «дѣйствія на разстояніи» только что изложенную, несомнѣнно, очень сложную, но все-таки не наглядную формулировку. Почему мы хотимъ пользоваться такимъ длиннымъ выраженіемъ: «положительно и отрицательно заряженныя тѣла, вызывая въ эфирѣ состояніе напряженія, испытываютъ со стороны эфира силы, притягивающія ихъ другъ къ другу»? Почему мы не говоримъ просто: «Положительно и отрицательно заряженныя тѣла притягиваются»? Какъ извѣстно, раньше пользовались второй, болѣе краткой формулировкой, и, быть можетъ, многими читателями этой книги она одна до сихъ поръ и употреблялась. То представленіе о силахъ, дѣйствующихъ на разстояніи, которое выражается въ этой формулировкѣ, называютъ: «теоріей непосредственнаго дѣйствія на разстояніи», потому что промежуточная среда, раздѣляющая оба тѣла, вакуумъ, по этой теоріи, казалось бы, не долженъ разсматриваться. Къ сожалѣнію, теорія эта, которая кажется такой чрезвычайно простой, имѣетъ тотъ недостатокъ, что она можетъ понятно объяснить только самые примитивные факты, напримѣръ, взаимодѣйствіе двухъ заряженныхъ тѣлъ. Еще до Максвелла, цѣлый рядъ фактовъ, открытыхъ благодаря экспериментальному изслѣдованію матеріи, заставилъ теоретиковъ говорить о силахъ, распространяющихся въ пространствѣ съ извѣстной скоростью. Очевидно, что тѣмъ самымъ они неизбѣжно принуждены были начать разсматривать пустое пространство, вакуумъ, какъ мѣсто, гдѣ проявляются силы, дѣйствующія на разстояніи Находясь подъ вліяніемъ ложнаго представленія о непосредственномъ дѣйствіи на разстояніи, они, конечно, не замѣчали противорѣчія, которое состояло въ томъ, что сила мыслилась внѣ ея связи съ вакуумомъ, а въ то же время ей приписывалась конечная скорость распространенія въ этомъ самомъ, будто бы исключенномъ изъ разсмотрѣнія, вакуумѣ. Понятно, что при такой спутанности основныхъ понятій, нельзя было получить яснаго представленія о законахъ электри-

ческихъ явленій. И только требованіе Максвелла, которое состояло въ томъ, что надо съ самаго начала разсматривать вакуумъ, какъ среду, передающую силы на разстояніе, повело къ глубокимъ, яснымъ воззрѣніямъ на зависимости, прежде бывшія непонятными; это же требованіе повело, далѣе, къ познанію того, что законы ученія объ электричествѣ, которые раньше казались одинокими, ничѣмъ не связанными между собой, образуютъ чудесную стройную систему.

Сила, дѣйствующая со стороны эфира на тѣла, заряженныя электричествомъ, вовсе не есть единственная сила, проявляющаяся на разстояніи; хорошо извѣстны, кромѣ нея, магнитная сила и сила тяжести или тяготѣнія. Кромѣ того, могутъ существовать и другія «дѣйствія на разстояніи», которыя до сихъ поръ не извѣстны; но, во всякомъ случаѣ, современная физика прочно усвоила обыкновеніе разсматривать всякую силу, дѣйствующую на разстояніи, какъ результатъ особаго состоянія эфира, и считаетъ цѣлью изученія эфира выясненіе закономѣрныхъ зависимостей между разнообразными состояніями эфира, которыя открываются намъ благодаря наблюденію своеобразныхъ силовыхъ его дѣйствій.

Мы представляемъ себѣ строеніе осязаемаго твердаго тѣла изъ молекулъ такимъ образомъ, что молекулы образуютъ довольно рѣдкую пространственную сѣтку, въ петляхъ которой находится только чистый вакуумъ. Молекулы сдерживаются силами, дѣйствующими на разстояніи, при чемъ эти силы онѣ испытываютъ со стороны эфира. Такимъ образомъ, если молекулы суть кирпичи, изъ которыхъ построено осязаемое тѣло, то эфиръ есть тотъ цементъ, которымъ эти кирпичи скрѣплены. Осязаемое тѣло, поэтому, всегда является образованіемъ, составленнымъ изъ молекулъ и эфира. На этомъ основаніи становится понятнымъ тотъ фактъ, что, напр., свѣтъ способенъ проходить черезъ осязаемыя тѣла. Конечно, процессы въ эфирѣ должны оказывать вліяніе на молекулы, которыя, какъ мы видѣли, находятся съ

нимъ въ физическомъ взаимодѣйствіи, но вызанные такимъ образомъ молекулярные процессы, въ свою очередь, должны дѣйствовать на процессы въ эфирѣ. Поэтому-то свѣтъ испытываетъ въ осязаемыхъ тѣлахъ поглощеніе, отраженіе, преломленіе. Точно такъ же электрическое и магнитное состояніе эфира мы можемъ одинаково хорошо наблюдать какъ въ вакуумѣ, такъ и въ осязаемыхъ тѣлахъ, но въ послѣднемъ случаѣ эти процессы, конечно, будутъ нѣсколько видоизмѣнены вслѣдствіе присутствія молекулъ. Съ другой стороны, ясно, что всѣ процессы, которые мы считаемъ матеріальными по преимуществу—механическіе, тепловые, химическіе—протекаютъ при участіи чистаго вакуума, скрѣпляющаго молекулы. Поэтому, всѣ матеріальные процессы въ большей или меньшей степени сопровождаются процессами въ чистомъ эфирѣ, т.-е. электро-магнитными дѣйствіями. Конечно, эти электромагнитныя дѣйствія очень слабы, но чувствительными приборами, которые въ настоящее время имѣются, наличность ихъ можетъ быть обнаружена съ полной достовѣрностью.

Электрическое состояніе эфира.

Зарядить тѣло электричествомъ значитъ привести его въ физическое взаимодѣйствіе съ эфиромъ. Зарядъ есть истинное связующее звено между матеріей и окружающимъ ее эфиромъ,—звено, благодаря которому матерія вызываетъ въ эфирѣ состояніе электрическаго напряженія, а эфиръ, приведенный въ это состояніе, въ свою очередь, дѣйствуетъ на матерію съ извѣстными силами. На этомъ взаимодѣйствіи непосредственно покоятся два метода измѣренія электрическаго состоянія эфира. Во-первыхъ, самъ зарядъ есть мѣра вызваннаго имъ *электрическаго возбужденія* эфира. Я зашелъ бы черезчуръ далеко, если бы сталъ излагать здѣсь, какъ можно мѣрить электрическій зарядъ. Для насъ на первыхъ порахъ будетъ достаточно знать, что это, вообще, возможно, и

что даже существуютъ методы, позволяющіе изслѣдовать распредѣленіе электрическаго возбужденія въ нѣкоторомъ пространственномъ «электрическомъ полѣ». Вовторыхъ, можно принять за мѣру электрическаго состоянія эфира силу, съ которой этотъ послѣдній дѣйствуетъ на частицу, обладающую опредѣленнымъ зарядомъ. Величину, измѣренную по этому методу, называютъ *силой электрическаго поля*, или *электрическимъ напряженіемъ эфира*. Слѣдовательно, если P есть сила, съ которой эфиръ дѣйствуетъ на частицу, выбранную для измѣренія, то напряженіе эфира E въ томъ мѣстѣ, гдѣ находится эта частица, выразится слѣдующимъ образомъ: $E = aP$. Здѣсь a есть нѣкоторый числовой множитель, зависящій отъ того, въ какихъ единицахъ выражена сила, какой зарядъ имѣетъ частица, и какое состояніе эфира будетъ выбрано за единицу силы электрическаго поля.

Этотъ второй методъ измѣренія электрическаго поля тотчасъ же даетъ возможность проявиться одной чрезвычайно своеобразной особенности эфира. А именно: сила, дѣйствующая на частицу, имѣетъ не только опредѣленную величину, но и опредѣленное направленіе. Поэтому, мы можемъ полностью охарактеризовать электрическое состояніе эфира, только давая какимъ-либо образомъ и направленіе силы.

Электрическое состояніе эфира можетъ быть описано только, какъ направленная величина.

Въ этомъ отношеніи электрическое состояніе подобно потоку воды или воздуха. Если мы въ потокѣ воздуха помѣстимъ на тонкой нити легкое тѣльце, то оно получитъ извѣстное отклоненіе и установится въ строго опредѣленномъ направленіи. При помощи подобнаго флюгера можно было бы мѣрить силу и направленіе вѣтра и, такимъ образомъ, однозначно характеризовать движеніе атмосферы. Точно такъ же, при помощи легкой заряженной частицы, стремящейся съ извѣстной силой установиться въ электрическомъ полѣ по опредѣлен-

ному направленію, можно было бы полностью наблюдать электрическое состояніе эфира. Но если мы хотимъ, для лучшаго уразумѣнія электрическаго состоянія эфира, подыскать ему аналогію въ какомъ-либо механическомъ состояніи осязаемой матеріи, то вѣтеръ здѣсь не особенно подойдетъ. Ибо, принявши эту аналогію, мы должны были бы сравнивать поле заряженнаго тѣла съ потокомъ воздуха, который постоянно исходитъ изъ этого тѣла во всѣ стороны съ одинаковой силой. Но это было бы неудобно, такъ какъ пришлось бы представить себѣ, что въ тѣлѣ происходитъ постоянное образованіе воздуха. Гораздо лучше, какъ это было уже выяснено выше, разсматривать, въ качествѣ аналогіи электрическаго состоянія эфира, упругое напряженіе въ осязаемыхъ средахъ. Но мы должны при этомъ, конечно, признать, что свойства эфира сильно отличаются отъ свойствъ осязаемыхъ тѣлъ. Въ самомъ дѣлѣ, въ этихъ послѣднихъ упругое состояніе ни въ коемъ случаѣ не можетъ быть описано, какъ направленная величина. Единственная деформація, связанная съ напряженіемъ въ газахъ и жидкостяхъ, есть измѣненіе объема: расширеніе или сжатіе. А эта деформація имѣетъ только опредѣленную величину, но не имѣетъ направленія. Соотвѣтственно этому, и въ газахъ напряженіе является нѣкоторой величиной, за единицу которой обычно принимаютъ «атмосферу»; но оно не является направленной величиной. Въ твердыхъ тѣлахъ напряженіе имѣетъ уже пространственную оріентировку. Такъ, напримѣръ, мы можемъ извѣстными силами растянуть проволоку или резиновую полоску въ продольномъ направленіи. Въ этомъ случаѣ продольное направленіе является какъ для деформаціи, такъ и для внутренняго напряженія, направленіемъ, обладающимъ извѣстнымъ преимуществомъ. Но тѣмъ не менѣе, оно рѣзко отличается отъ направленія поля для электрическаго напряженія эфира. Ибо, чтобы натянуть упругую проволоку, надо приложить къ *обоимъ концамъ* ея равныя и противоположныя силы. Поэтому

нельзя говорить, что проволока натянута въ ту или другую сторону, вдоль своего продольнаго направленія; обѣ стороны тутъ равнозначны. Слѣдовательно, натяженіе проволоки не есть векторіальная величина, не есть величина, обладающая вполнѣ опредѣленнымъ направленіемъ, какъ электрическое напряженіе или вѣтеръ. Если мы хотимъ проводить аналогію между электрическимъ состояніемъ эфира и состояніемъ напряженія въ осязаемыхъ средахъ, то мы должны все время помнить, что это сравненіе, какъ и всякое вообще сравненіе, въ одномъ отношеніи не удовлетворительно. Электрическое напряженіе эфира всегда имѣетъ одно опредѣленное направленіе, упругое же напряженіе въ осязаемыхъ средахъ не обладаетъ вполнѣ опредѣленнымъ направленіемъ.

Обыкновенно электрическое поле изображаютъ графически, проводя болѣе или менѣе изогнутыя линіи, которыя во всякомъ мѣстѣ совпадаютъ съ направленіемъ поля. Эти линіи называются линіями электрическаго поля [1]). Такъ какъ онѣ обладаютъ, согласно съ изложеннымъ выше, одностороннимъ направленіемъ, то мыслимы два ряда электрическихъ возбужденій, вызванныхъ заряженными тѣлами. Силовыя линіи могутъ либо начинаться на заряженномъ тѣлѣ, изъ него исходить, либо кончаться на этомъ тѣлѣ, входить въ него. Оба эти случая наблюдаются въ дѣйствительности. Слѣдовательно, *существуютъ два рода электрическихъ зарядовъ*. Такъ какъ электрическія поля, вызываемыя ими, различаются математически знаками своего направленія, то и заряды различаютъ *положительные* и *отрицательные*. Принято, кромѣ того, считать, что зарядъ, который получаетъ стеклянная палочка при треніи о шелковую тряпку,—положительный. Путемъ сравненія поля всякаго иного заряженнаго тѣла съ полемъ стеклянной палочки, можно установить, какъ именно заряжено это тѣло—положительно или отрицательно.

---

[1]) Или, чаще, силовыми линіями. *Перев.*

Оба рода зарядовъ являются во всѣхъ отношеніяхъ противоположными. Если внести въ одно и то же поле положительно заряженную и отрицательно заряженную частицы, одну вслѣдъ за другой, то окажется, что силы, съ которыми эфиръ будетъ дѣйствовать на нихъ, будутъ прямо противоположны. Значитъ, мы обязаны прибавить къ формулированному выше опредѣленію направленія электрическаго напряженія, какой зарядъ должны имѣть

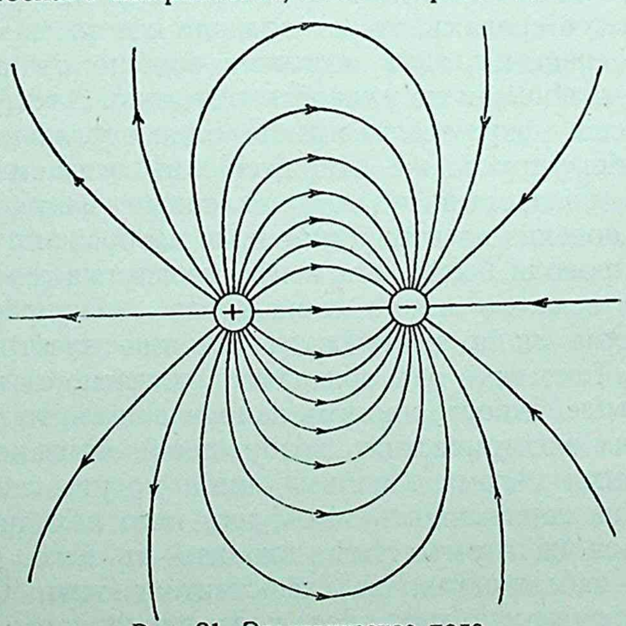


Рис. 21. Электрическое поле.

частицы, при помощи которыхъ изслѣдуется поле. Условились считать направленіе поля совпадающимъ съ направленіемъ силы, которая дѣйствуетъ на положительно заряженную частицу. Оказывается, кромѣ того, что положительно заряженное тѣло отталкивается отъ другого положительно заряженнаго тѣла и притягивается къ отрицательно заряженному. Изъ этого слѣдуетъ, что электрическія силовыя линіи выходятъ изъ положительно заряженныхъ тѣлъ и входятъ въ отрицательно заряженныя. На рис. 21 графически изображено, при помо-

щи силовыхъ линій, электрическое поле между двумя шарами, изъ которыхъ одинъ заряженъ положительно, другой—отрицательно.

Равновѣсіе электрическаго состоянія.

Мы должны прежде всего ознакомиться съ величиной, которую мы назовемъ полной величиной напряженія эфира въ извѣстной области. Мы опредѣлимъ это понятіе совершенно аналогично тому, какъ опредѣляется полная величина упругихъ напряженій въ механикѣ. Представимъ себѣ, что газъ, обладающій упругостью,— допустимъ, въ нѣсколько атмосферъ,—заключенъ въ цилиндръ, закрытый, какъ въ паровой машинѣ, подвижнымъ поршнемъ. Тогда мы можемъ составить себѣ представленіе объ упругости этого газа, наблюдая силу, съ которой онъ стремится вытолкнуть поршень. Эту силу мы должны разсматривать, какъ мѣру полной величины давленія газа на поверхности поршня. Полная величина P равняется произведенію давленія газа p на поверхность поршня q, т.-е.: $P = p . q$. Если p выражено въ атмосферахъ, а q въ квадратныхъ сантиметрахъ, то P получится (приблизительно) въ килограммахъ.

Для эфира понятіе о полномъ напряженіи слѣдуетъ нѣсколько видоизмѣнить: это вызывается тѣмъ, что напряженіе эфира есть векторіальная, т.-е. направленная величина. Пусть $AB = S$ есть маленькій отрѣзокъ силовой линіи, при чемъ положительное направленіе напряженія эфира пусть будетъ отъ A къ B. Пусть, далѣе, E—сила электрическаго поля на этомъ маленькомъ отрѣзкѣ линіи; вслѣдствіе близости A и B эту силу можно съ достаточной степенью точности считать постоянной. *Произведеніе силы поля на длину силовой линіи E.S и принимается за мѣру полнаго напряженія на отрѣзкѣ S.* Если $S = AB$ не совпадаетъ съ направленіемъ силовыхъ линій, то мы беремъ вмѣсто E ея составляющую по AB, E'; поэтому полное напряженіе те-

перь будетъ равно $E'S$. Если AB и поле направлены въ противоположныя стороны, то полное напряженіе отъ A къ B будетъ равно — ES.

Мы можемъ теперь легко установить, что мы должны считать за полное напряженіе эфира вдоль сколь угодно большой, прямой или кривой линіи, соединяющей двѣ сколь угодно удаленныя точки A и B. Въ самомъ дѣлѣ, эту линію мы можемъ раздѣлить на большое число маленькихъ отрѣзковъ S_1 S_2 S_3..., каждый изъ которыхъ можно приблизительно считать за прямую. Если сдѣлать эти отрѣзки настолько малыми, что измѣненіями поля вдоль каждаго изъ нихъ можно пренебречь, то тогда мы будемъ имѣть право говорить объ опредѣленныхъ значеніяхъ силъ поля E_1, E_2, E_3,... вдоль каждаго изъ отрѣзковъ и о соотвѣтствующихъ значеніяхъ составляющихъ, параллельныхъ перемѣщенію: E'_1, E'_2, E'_3,...; всѣ эти величины измѣняются отъ одного отрѣзка къ другому, понятно, весьма медленно. Такъ какъ, далѣе, полныя напряженія вдоль отдѣльныхъ маленькихъ отрѣзковъ легко можно вычислить: E'_1S_1, E'_2S_2,..., то можно найти и полную величину напряженія V_{AB} вдоль всей линіи отъ начальной точки A до конечной B:

$$V_{AB} = E'_1S + E'_2S_2 + \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot$$

Сумма, стоящая въ правой части равенства, есть не что иное, какъ работа, затраченная нами при передвиженіи отъ точки A до точки B заряда, принятаго за единицу. Иначе эту величину называютъ, какъ сказано выше, «полнымъ напряженіемъ».

Соотвѣтственно тому, направлена ли линія отъ A къ B или отъ B къ A, полное напряженіе считаютъ положительнымъ или отрицательнымъ $V_{AB} = - V_{BA}$.

Вмѣсто того, чтобы употреблять выраженіе «полная величина напряженія вдоль AB», часто просто говорятъ коротко: «электрическое напряженіе между A и B».

Теперь условіе равновѣсія внутреннихъ напряженій въ эфирѣ можно формулировать слѣдующимъ образомъ:

Условіе равновѣсія въ электрическомъ полѣ. Электрическія напряженія эфира будутъ находиться въ равновѣсіи тогда и только тогда, когда полное напряженіе между какими-либо двумя точками, на всѣхъ линіяхъ, соединяющихъ эти точки, будетъ имѣть одно и то же значеніе.

Это условіе можно формулировать также слѣдующимъ образомъ: «электрическія напряженія эфира будутъ находиться въ равновѣсіи тогда, когда полное напряженіе вдоль замкнутой кривой будетъ равно нулю».

Поле, въ которомъ это условіе не выполняется, не можетъ, такимъ образомъ, оставаться въ равновѣсіи. Въ немъ должны происходить перемѣщенія силовыхъ линій до тѣхъ поръ, пока не наступаетъ состояніе равновѣсія.

Разсмотрѣнное условіе совершенно аналогично условію равновѣсія упругихъ напряженій въ осязаемыхъ средахъ. Это послѣднее гласитъ: полное напряженіе на замкнутой поверхности должно равняться нулю. Если это условіе не выполнено, то на часть среды, ограниченную замкнутой поверхностью, дѣйствуетъ сила, которая вызываетъ движенія; эти внутреннія движенія продолжаются до тѣхъ поръ, пока не наступаетъ равновѣсіе.

Проводники и изоляторы.

Электрическое поле можетъ существовать какъ въ эфирѣ, такъ и въ осязаемыхъ средахъ: вѣдь міровой эфиръ входитъ въ составъ всѣхъ осязаемыхъ тѣлъ. Газы, въ этомъ отношеніи, лишь едва замѣтно отличаются отъ чистаго вакуума, такъ какъ у нихъ объемъ, приходящійся на долю пустоты, во много разъ превосходитъ объемъ, занятый молекулами. Поэтому электрическіе опыты большей частью производятъ, безъ всякаго ущерба, въ воздухѣ, такъ какъ въ вакуумѣ экспериментировать безгранично труднѣй. Въ жидкостяхъ и твердыхъ тѣлахъ, гдѣ молекулы расположены тѣснѣй, вліяніе мо-

лекулъ на электрическое поле, конечно, возможно замѣтить. Но условіе равновѣсія электрическихъ напряженій для осязаемыхъ средъ совершенно такое же, какъ для чистаго вакуума.

Во многихъ веществахъ присутствіе осязаемыхъ частичекъ является причиной того, что электрическое поле вообще не можетъ въ нихъ существовать. Къ такимъ веществамъ принадлежатъ, прежде всего, металлы. Мы можемъ легко демонстрировать ихъ особыя свойства въ этомъ отношеніи. Если мы подвѣсимъ очень легкую заряженную частицу на тонкой нити, то при приближеніи натертой эбонитовой палочки мы видимъ, что поле, которое возбудила вокругъ себя эта палочка, увлекаетъ частицы въ опредѣленномъ направленіи. Если мы поставимъ теперь между подвѣшенной частицей и эбонитовой палочкой большой стеклянный кругъ или эбонитовую пластинку, то отъ этого результатъ не измѣнится. Это значитъ, что электрическое поле просто проходитъ черезъ стекло или эбонитъ; поэтому оно можетъ само существовать въ этихъ средахъ. Но если мы между частицей и палочкой помѣстимъ большой металлическій дискъ, то мы уже не замѣтимъ никакихъ силъ, дѣйствующихъ на частицу. Металлическій дискъ рѣзко обрываетъ поле, исходящее отъ эбонитовой палочки; иными словами: поле не можетъ проходить черезъ металлическій дискъ. Если желательно произвести опытъ очень точно и устранить малѣйшія силы, то надо все пространство, въ которомъ находится частица, окружить металлическими стѣнками. *Фарадэй* построилъ камеру съ металлическими стѣнками, которая была такъ велика, что онъ самъ въ нее могъ входить. Оказалось, что какія бы сильныя поля снаружи не возбуждались, внутри нельзя было замѣтить ни малѣйшихъ слѣдовъ ихъ. Этотъ опытъ удается и тогда, когда металлическія стѣнки дѣлаютъ сколь угодно тонкими; значитъ, поле прекращается на самомъ внѣшнемъ слоѣ металла, оно совсѣмъ не проникаетъ въ металлъ.

Въ металлахъ электрическое поле не можетъ существовать. Если же поле возникаетъ въ нихъ, то оно непремѣнно тотчасъ же разрушается. Вещества, обладающія этой особенностью, называютъ электрическими проводниками.

Въ стеклѣ, эбонитѣ и во многихъ другихъ тѣлахъ электрическое поле можетъ существовать. Эти вещества называютъ діэлектриками или электрическими изоляторами.

Промежуточное положеніе между проводниками и діэлектриками занимаютъ полупроводники, къ которымъ принадлежатъ дерево, бумага и многія другія тѣла. Въ полупроводникахъ поле можетъ существовать въ теченіе извѣстнаго времени, но мало-по-малу исчезаетъ.

Когда проводнику сообщаютъ электрическій зарядъ, то внѣшнее электрическое поле тотчасъ располагается такимъ образомъ, что полное напряженіе между двумя различными точками поверхности проводника равняется нулю. Это должно быть такъ потому, что напряженіе внутри проводника всегда равно нулю; въ виду этого поле вокругъ него можетъ находиться въ равновѣсіи только тогда, когда будетъ выполнено только что расмотрѣнное условіе. Отсюда прямо слѣдуетъ:

Полное напряженіе эфира между поверхностями двухъ раздѣленныхъ между собой проводниковъ есть величина постоянная.

Если посмотрѣть, напримѣръ, на силовыя линіи поля, изображеннаго на рис. 21 (стр. 140), то видно, что длина ихъ между обоими шариками весьма различна. Но условіе равновѣсія поля требуетъ, чтобы напряженіе на короткихъ линіяхъ въ среднемъ было больше, чѣмъ на длинныхъ, такъ, чтобы работа перехода для всѣхъ составляла одну и ту же величину. И, дѣйствительно, какъ разъ между обоими шариками сила поля особенно велика; чѣмъ дальше отъ соединяющей ихъ прямой, тѣмъ она становится меньше. Особенно просто видно

значеніе условія равновѣсія у поля плоскаго конденсатора (рис. 22). Если поле находится въ равновѣсіи (рис. 22, с), то между обѣими пластинками, гдѣ силовыя линіи имѣютъ одну и ту же длину, сила поля должна быть постоянна. Но силовыя линіи проходятъ также снаружи, и здѣсь онѣ сравнительно очень длинны. Внѣшнее поле конденсатора, поэтому, очень слабо. Если бы поле между пластинками было неравномѣрно, что на рис. 22 а и b должно изображаться тѣмъ, что въ мѣстахъ, соотвѣтствующихъ большей силѣ поля, силовыя линіи проведены гуще, чѣмъ въ мѣстахъ, соотвѣтствующихъ меньшей силѣ поля,—то такое поле не могло бы оставаться въ покоѣ. Въ эфирѣ возникли бы тогда электрическія колебанія, точно такъ же, какъ въ столбѣ воздуха, въ которомъ имѣются мѣста съ большей упругостью и мѣста съ меньшей упругостью, возникаютъ механическія колебанія. Тогда электрическія колебанія, непрерывно затрачивая энергію, продолжались бы до тѣхъ поръ, пока не была бы израсходована вся свободная энергія, т.-е. до тѣхъ поръ, пока не наступило бы равновѣсіе.

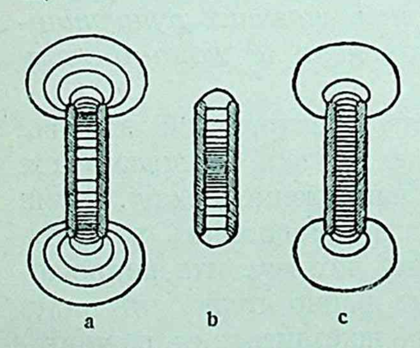


Рис. 22. Поле плоскаго конденсатора при равновѣсіи и при отсутствіи равновѣсія.

Чрезвычайно важное примѣненіе находитъ себѣ условіе равновѣсія поля въ конструкціи электрометра. *Электрометръ есть приборъ для измѣренія полнаго напряженія эфира между двумя не соприкасающимися проводниками.* Онъ состоитъ изъ двухъ неподвижныхъ изолированныхъ другъ отъ друга металлическихъ тѣлъ, а между ними находится по возможности легкій «указатель», который можетъ отклоняться отъ своего положенія равновѣсія. Этотъ указатель заряжается какъ-нибудь и служитъ для того, чтобы указывать на налич-

ность поля между обоими неподвижными тѣлами, которыя мы, поэтому, назовемъ «индукторами поля». Эти индукторы соединяютъ съ обоими тѣлами, между которыми имѣется измѣряемое поле. Тогда, въ силу условія равновѣсія, между индукторами возникаетъ поле, полное напряженіе котораго равно полному напряженію измѣряемаго; такимъ образомъ, измѣряемое поле какъ бы вносится въ инструментъ, и о его напряженіи можно тогда судить по отклоненію указателя.

Возбужденіе электрическихъ полей соприкосновеніемъ тѣлъ.

Строго говоря, поля не могутъ существовать только внутри проводника, состоящаго изъ *одного* вещества. При соприкосновеніи двухъ различныхъ проводниковъ, въ особенности металла и жидкаго проводника, между молекулами обоихъ тѣлъ, въ мѣстѣ прикосновенія, возникаетъ электрическое поле. Между поверхностями обоихъ проводниковъ развивается электрическое напряженіе, и, въ силу равновѣсія, полная величина этого напряженія повсюду равна полному напряженію интрамолекулярнаго поля въ мѣстѣ соприкосновенія. Фактъ возникновенія зарядовъ при соприкосновеніи двухъ различныхъ химическихъ веществъ описываютъ, обычно, говоря, что оба тѣла имѣютъ различную склонность заряжаться положительно или отрицательно. Если же мы ихъ приведемъ въ соприкосновеніе, то тѣло, которое имѣетъ большую склонность заряжаться положительно, отниметъ отъ другого положительный зарядъ или сообщитъ ему отрицательный, что, конечно, сводится къ тому же. Это происходитъ до тѣхъ поръ, пока возникающее электрическое напряженіе, которое, понятно, все время стремится соединять заряды, не уравновѣсится присущей тѣламъ способностью разъединять заряды, такъ называемой «электродвижущей силой». Какова природа этой электродвижущей силы, мы не знаемъ;

да и вообще мы довольно мало знаемъ объ электрическихъ свойствахъ молекулъ. Но она, эта электродвижущая сила, возникаетъ и при соприкосновенiи изоляторовъ и возбуждаетъ въ нихъ заряды, которые извѣстны подъ именемъ «электричества отъ тренiя», потому что для полученiя хорошаго контакта оба тѣла обычно немного трутъ другъ о друга. Напряженiя при соприкосновенiи металловъ и жидкихъ проводниковъ практически утилизируются въ *гальваническихъ элементахъ*. Элементъ состоитъ изъ двухъ металлическихъ «электродовъ», которые соединены между собой проводящимъ воднымъ растворомъ. Тогда между обоими электродами получается поле вполнѣ опредѣленнаго напряженiя. Если включить послѣдовательно нѣсколько элементовъ, то получится *батарея*, которая отличается отъ отдѣльнаго элемента тѣмъ, что на ея зажимахъ (клеммахъ) можно получить большiя напряженiя. Именно, напряженiе батареи равняется суммѣ напряженiй отдѣльныхъ элементовъ, изъ которыхъ она состоитъ.

Электрическое возбужденiе эфира.

Если мы внесемъ изолированное металлическое тѣло въ электрическое поле, то поле внутри его разрушится. Съ той стороны, откуда идутъ силовыя линiи, онѣ обрываются металлическимъ тѣломъ такъ, что на немъ онѣ и оканчиваются; съ противоположной стороны силовыя линiи начинаются на поверхности тѣла. Иными словами: тамъ, гдѣ силовыя линiи входятъ въ тѣло, получается отрицательный зарядъ, тамъ же, гдѣ онѣ выходятъ изъ тѣла,—положительный. Это явленiе называютъ *индукцiей* электрическихъ зарядовъ въ электрическомъ полѣ.

Если мы въ изолированное полое металлическое тѣло внесемъ заряженное тѣло, то поле, исходящее изъ него, кончается на внутренней поверхности перваго, но зато на его наружной поверхности начинается новое поле. Если бы мы соединили какимъ-либо проводникомъ по-

лое тѣло съ землей, то мы бы, конечно, уже не могли обнаружить внѣшняго поля, потому что тогда зарядъ, индуцированный на внѣшней поверхности, распредѣлился бы не только на тѣлѣ, но и на всей земной поверхности, и притомъ такимъ образомъ, чтобы напряженіе между металлическимъ тѣломъ и землей, согласно условію равновѣсія, равнялось бы нулю (точнѣе говоря, неизмѣнному, маленькому значенію напряженія при соприкосновеніи). Поэтому мы ставимъ металлическій сосудъ, какъ показываетъ рис. 23, на изолированной стеклянной ножкѣ. Для того, чтобы, далѣе, имѣть возможность съ удобствомъ наблюдать внѣшнее поле, мы соединяемъ сосудъ съ электрометромъ. На рис. 23 изображенъ такъ называемый электрометръ съ золотыми листочками. Однимъ индукторомъ служитъ металлическій стерженекъ, снабженный клеммой и соединенный съ сосудомъ проволокой. Другимъ индукторомъ является металлическая оболочка электрометра, соединенная при помощи металлической ножки и,—если это необходимо,—проволоки съ землей, т.-е. съ водопроводной сѣтью. Слѣдовательно, мы будемъ наблюдать въ электрометрѣ напряженіе между металлическимъ сосудомъ и земной поверхностью (водопроводомъ). Въ качествѣ указателя служитъ тонкая полоска золотой фольги; ее устраиваютъ иногда, какъ и показываетъ рис. 23, двойной. Чтобы зарядить указатель, въ описанный маленькій приборъ не вносятъ никакого источника электричества, но просто приводятъ золотой листокъ въ проводящее соединеніе съ однимъ изъ индукторовъ, а именно съ металлическимъ стержнемъ; листокъ, слѣдовательно, заряжается до такого же напряженія, какъ и стержень, и подъ

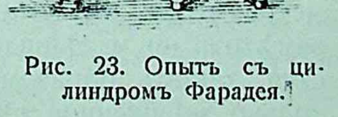


Рис. 23. Опытъ съ цилиндромъ Фарадея.

вліяніемъ поля отталкивается отъ него. Величина отклоненія служитъ мѣрой приложеннаго напряженія, и приборчикъ легко можно проградуировать при помощи гальванической батареи на обычныя единицы напряженія—на вольты. Въ тотъ моментъ, когда въ металлическій сосудъ вносятъ заряженное тѣло, листочки электрометра, которые прежде висѣли книзу, получаютъ отклоненіе и тѣмъ самымъ указываютъ на наличность внѣшняго поля. Измѣняя всячески положеніе заряженнаго тѣла, то приближая его къ стѣнкамъ полости, то располагая по возможности въ серединѣ, можно обнаружить, что эти перемѣщенія не оказываютъ ни малѣйшаго вліянія на внѣшнее поле: отклоненіе электрометра остается постояннымъ. Если удалить тѣло изъ сосуда, то листочки электрометра, естественно, снова спадутся—отклоненіе его будетъ равно нулю.

Этому опыту можно придать нѣсколько видоизмѣненную интересную форму, если взять въ качествѣ заряженнаго тѣла проводникъ, помѣщенный на незаряженной изолированной ручкѣ. Если внести такое тѣло въ сосудъ и прикоснуться имъ къ стѣнкѣ этого сосуда, внимательно слѣдя въ то же время за отклоненіемъ электрометра, то и въ моментъ прикосновенія нельзя будетъ замѣтить ни малѣйшаго измѣненія. Внѣшнее поле остается, такимъ образомъ, абсолютно постояннымъ, если только заряженное тѣло находится внутри сосуда, что бы съ этимъ тѣломъ ни происходило. Но если послѣ прикосновенія удалить тѣло изъ сосуда, то листочки электрометра не возвращаются назадъ, наоборотъ, они остаются на мѣстѣ. Изъ этого слѣдуетъ, что металлическое тѣло послѣ соприкосновенія оказывается лишеннымъ электрическаго заряда. Слѣдовательно, въ моментъ соприкосновенія со стѣнкой сосуда оно совершенно потеряло свой зарядъ, и внутреннее поле разрушилось. Зарядъ же перешелъ на сосудъ. Далѣе, изъ того, что въ моментъ соприкосновенія не наблюдается никакого измѣненія въ отклоненіи электрометра, слѣдуетъ, что пре-

жде, чѣмъ произошла передача заряда, внѣшній индуктированный зарядъ былъ уже равенъ заряду введеннаго въ сосудъ тѣла.

Этотъ опытъ былъ впервые произведенъ *Фарадеемъ*, почему и самый цилиндрическій сосудъ, служащій для опыта, называется Фарадеевскимъ цилиндромъ.

При помощи Фарадеевскаго цилиндра можно сравнивать между собой электрическіе заряды и мѣрить ихъ. Въ самомъ дѣлѣ, очевидно, что два тѣла имѣютъ одинаковые заряды, если они, будучи введены одно за другимъ въ металлическій сосудъ, вызовутъ одно и то же отклоненіе электрометра. Если одновременно внести въ цилиндръ два, три, или большее количество тѣлъ, которыя всѣ обладаютъ равными между собой зарядами, то можно установить, какое отклоненіе электрометра соотвѣтствуетъ двойному, тройному и вообще какому угодно кратному заряду одного тѣла. Такимъ образомъ можно градуировать шкалу электрометра на электрическіе заряды подобно тому, какъ градуируется шкала пружинныхъ вѣсовъ, для чего на чашку ихъ кладется 1, 2, 3, или большее количество тѣлъ, обладающихъ одинаковымъ вѣсомъ. Если мы одновременно внесемъ въ металлическій сосудъ два тѣла, изъ которыхъ одно заряжено положительно, а другое—отрицательно, и при этомъ не получимъ никакого отклоненія электрометра, то мы можемъ сказать, что оба заряда какъ разъ равны и противоположны. Точныя измѣренія съ Фарадеевскимъ цилиндромъ привели къ слѣдующему общему закону природы:

Законъ сохраненія электрическихъ зарядовъ. При всякомъ процессѣ, освобождающемъ электрическіе заряды, возникаютъ одинаковыя количества положительныхъ и отрицательныхъ зарядовъ.

Сумма возникающихъ зарядовъ, слѣдовательно, всегда равна нулю. На основаніи этого закона считаютъ, что собственно заряды вообще не образуются вновь. Дѣло представляютъ себѣ такъ, что въ молекулахъ матеріи постоянно существуютъ заряды, при чемъ въ повиди-

мому нейтральной молекулѣ находятся одинаковыя количества положительныхъ и отрицательныхъ зарядовъ. Когда эти заряды раздѣляются и отодвигаются другъ отъ друга, то возникаютъ поля, обладающія значительной протяженностью, и съ этими полями уже можно экспериментировать.

Какъ мы убѣдились, зарядъ, наведенный на внѣшней сторонѣ Фарадеевскаго цилиндра, какъ разъ равенъ заряду внесеннаго въ нее тѣла. Поэтому изъ только что формулированнаго закона слѣдуетъ, что зарядъ, возникающій на внутренней поверхности, равенъ и противоположенъ заряду введеннаго въ цилиндръ тѣла. Это справедливо всегда, какъ бы великъ ни былъ полый сосудъ. Мы приходимъ, такимъ образомъ, къ новому, чрезвычайно важному закону физики эфира:

Электрическія силовыя линіи, исходящія изъ опредѣленнаго заряда, могутъ кончаться только на равномъ и противоположномъ зарядѣ. Слѣдовательно, электрическое поле въ эфирѣ не можетъ постепенно сходить на нѣтъ.

Этотъ законъ выражаетъ въ высшей степени характерную физическую особенность чистаго эфира, и изъ него можно вывести нѣкоторыя очень важныя слѣдствія. Одно изъ этихъ слѣдствій состоитъ въ томъ, что *въ эфирѣ не возможны продольныя волны.* Чтобы убѣдиться въ этомъ, представимъ себѣ, что у насъ имѣется шаръ, который мы, при помощи перемѣннаго тока съ очень большимъ числомъ перемѣнъ, въ чрезвычайно быстрой послѣдовательности заряжаемъ положительно, разряжаемъ, заряжаемъ отрицательно, опять разряжаемъ, снова заряжаемъ положительно, и т. д. Все это должно совершаться настолько быстро, чтобы промежутки времени всякій разъ были недостаточны для того, чтобы электрическое состояніе эфира вокругъ шара могло окончательно сформироваться. Мы сдѣлаемъ только ложное допущеніе, что образованіе поля вокругъ шара происходитъ такимъ образомъ, что при всякомъ новомъ зарядженіи шара си-

ловыя линіи выбрасываются изъ него съ извѣстной скоростью. Поэтому, если шаръ теряетъ свой зарядъ прежде, чѣмъ поле успѣетъ занять довольно маленькую область, то съ внѣшней стороны оно должно продолжать распространяться въ пространствѣ съ присущей ему скоростью, но съ внутренней стороны, на шарѣ, поле должно исчезнуть. Мы получили бы, такимъ образомъ, какъ это изображено на рис. 24, заполненную полемъ, но отдѣ-

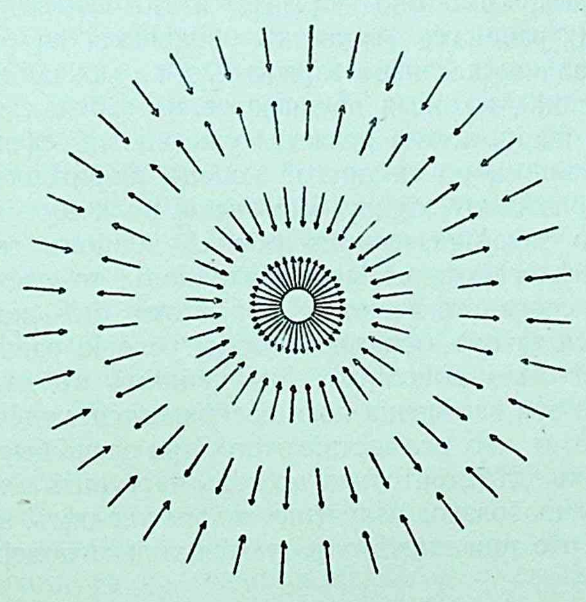


Рис. 24. Электрическія продольныя волны невозможны.

ленную отъ металлическаго шара оболочку, которая распространялась бы съ опредѣленной скоростью радіально во всѣ стороны. Вслѣдствіе того, что металлическій шаръ поперемѣнно заряжается, за этой первой оболочкой послѣдовала бы вторая, у которой поле имѣло бы противоположное направленіе, за второй—третья съ прежнимъ направленіемъ поля, и т. д. Такимъ образомъ отъ шара распространялось бы правильное волнообразное излученіе. И это были бы именно продольныя волны,

такъ какъ поле вокругъ луча было бы совершенно симметрично; у такого луча нельзя было бы обнаружить явленій поляризаціи, которыя наблюдаются у свѣтовыхъ лучей (стр. 93).

Подобныя продольныя волны никогда не наблюдались въ эфирѣ, и мы можемъ увѣренно сказать, что онѣ никогда и не будутъ наблюдены, такъ какъ въ силу самой природы эфира поле въ немъ не можетъ обрываться такъ, какъ оно обрывается по нашему допущенію на границахъ шаровыхъ оболочекъ на рис. 24. Если металлическій шаръ заряжается, то каждая изъ силовыхъ линій, которыя начинаются на зарядахъ, сообщенныхъ шару, всегда является уже вполнѣ сформированной, коль скоро ея другой конецъ прикрѣпленъ къ противоположному заряду. Измѣненія поля состоятъ въ томъ, что закрѣпленныя съ обоихъ концовъ силовыя линіи, вслѣдствіе перемѣщенія зарядовъ, то растягиваются, то снова стягиваются; при этомъ онѣ, понятно, изгибаются такимъ образомъ, чтобы условіе равновѣсія все время было выполнено. Мы увидимъ въ дальнѣйшемъ, что эти измѣненія поля совершаются, конечно, не мгновенно, и что, вслѣдствіе этого, при очень быстрыхъ перемѣнахъ дѣйствительно можетъ наступить электрическое волнообразное излученіе; но мы увидимъ, вмѣстѣ съ тѣмъ, что при этомъ образуются только поперечныя волны.

Электрическіе токи.

Хотя въ проводникахъ электрическое поле, будучи предоставлено самому себѣ, разрушается, однако его можно поддерживать въ теченіе извѣстнаго времени, если затрачивать на это энергію. Если соединить между собой два противоположно заряженныя металлическія тѣла сырой деревянной планкой, то поле между ними тотчасъ исчезнетъ. Но если оба металлическихъ тѣла приключить къ полюсамъ сильной электрической машины, то, несмотря на проводящее соединеніе, между тѣлами мож-

но будетъ поддерживать извѣстное напряженіе, если вращать достаточно быстро машину. Въ самомъ дѣлѣ, разрушеніе поля требуетъ извѣстнаго времени, при чемъ сила поля падаетъ тѣмъ быстрѣй, чѣмъ она больше. Если привести въ дѣйствіе электрическую машину, то напряженіе будетъ возрастать до тѣхъ поръ, пока скорости разрушенія поля и его образованія, вслѣдствіе работы машины, не сравняются. Это напряженіе въ дальнѣйшемъ остается постояннымъ. Электрическое поле въ проводящей планкѣ можно легко обнаружить, если соединить какія-нибудь двѣ точки ея съ обоими индукторами электрометра; пока дѣйствуетъ электрическая машина, получается отклоненіе; значитъ, дѣйствительно, между обѣими точками существуетъ напряженіе, существуетъ поле. Это поле постоянно разрушается въ проводникѣ, но въ то же время оно непрерывно возстановляется извнѣ процессами въ эфирѣ, которые направлены непосредственно къ поддержанію равновѣсія напряженій. Процессъ постояннаго возобновленія распадающагося электрическаго поля мы назовемъ *электрическимъ токомъ*. Мы вводимъ этотъ терминъ на томъ основаніи, что постоянное разрушеніе поля связано съ переносомъ электрическихъ зарядовъ внутри проводника. Если мы соединимъ проводникомъ два кондуктора, изъ которыхъ одинъ заряженъ положительно, другой—отрицательно, то исчезнутъ не только напряженія въ эфирѣ, но, само собой разумѣется, и заряды матеріи, которые вызываютъ эти напряженія. Положительный и отрицательный заряды обоихъ кондукторовъ соединяются между собой. Это соединеніе состоитъ въ томъ, что длинныя силовыя линіи прежде наблюдавшагося поля сразу стягиваются въ отрѣзки молекулярныхъ размѣровъ. Какимъ образомъ мы должны представлять себѣ перемѣщеніе зарядовъ въ проводникѣ, я подробно изложу, на основаніи опытныхъ фактовъ, въ послѣдней главѣ. Но я уже здѣсь впередъ сообщу общій результатъ этихъ изслѣдованій, съ тою цѣлью, чтобы при разсмотрѣніи про-

цессовъ въ эфирѣ, связанныхъ съ электрическимъ токомъ, имѣть достаточно точныя представленія объ этомъ токѣ.

Этотъ результатъ состоитъ въ томъ, что веществу сообщаетъ характеръ проводника присутствіе маленькихъ частицъ, которыя могутъ свободно диффундировать сквозь петли молекулярной сѣтки, образующей вещество, и которыя несутъ частью положительные, частью отрицательные заряды. Подобныя частицы называютъ іонами. Ихъ присутствіе является причиной того, что электрическое поле въ проводникѣ разрушается. Въ самомъ дѣлѣ, іоны, находясь подъ вліяніемъ силы, дѣйствующей на нихъ въ полѣ, двигаются всегда до тѣхъ поръ, пока на поверхности проводника не накопляются наведенные заряды, на которыхъ и заканчиваются силовыя линіи. Только тогда, когда поле совсѣмъ не проникаетъ въ проводникъ, іоны остаются въ покоѣ. Слѣдовательно, равновѣсіе наступаетъ только послѣ полнаго разрушенія поля. Когда мы соединяемъ положительно заряженный кондукторъ съ отрицательно заряженнымъ при помощи сырой деревянной планки, то подъ вліяніемъ силы внутренняго поля въ этой планкѣ передвигаются іоны отъ одного кондуктора къ другому, и заряды выравниваются. При этомъ для насъ сейчасъ совершенно безразлично, идутъ ли положительные іоны отъ положительнаго кондуктора къ отрицательному, или отрицательные іоны въ противоположномъ направленіи, или, наконецъ, передвигаются оба рода іоновъ одни къ отрицательному, другіе къ положительному кондукторамъ. Во всякомъ случаѣ, сумма положительныхъ и отрицательныхъ зарядовъ іоновъ, которые въ цѣломъ перенесены черезъ проводящее соединеніе, должна быть равна заряду, исчезнувшему для насъ на каждомъ изъ обоихъ проводниковъ, положительному на одномъ изъ нихъ и отрицательному—на другомъ. Когда мы приключаемъ электрическую машину, то въ соединяющемъ проводникѣ возникаетъ потокъ іоновъ, а именно та-

кимъ образомъ, что заряды, возбужденные машиной, съ такой же скоростью уносятся, съ какою они возникаютъ. При этомъ движенiе отдѣльныхъ частицъ въ планкѣ можетъ быть очень медленнымъ; если медленно перемѣщается весьма большое число частицъ, то онѣ переносятъ такой же зарядъ, какъ немного частицъ, движущихся съ соотвѣтственно большей скоростью.

Въ металлической проволокѣ число iоновъ неизмѣримо больше, чѣмъ въ сырой деревянной планкѣ. Вслѣдствiе этого тѣ небольшiя количества электрическихъ зарядовъ, которыя даетъ электрическая машина, черезъ проволоку почти мгновенно выравнивались бы. А потому, если бы замѣнить въ только что описанномъ опытѣ деревянную планку металлической проволокой, то получилось бы лишь едва замѣтное поле. Иное произойдетъ, если вмѣсто электрической машины взять источникъ электричества, дѣйствующiй быстрѣе. Подобнымъ источникомъ является гальваническая батарея. Если соединить оба полюса батареи болѣе или менѣе длинной и тонкой проволокой, то можно обнаружить, что напряженiе между полюсами, несмотря на хорошо проводящее соединенiе, остается почти неизмѣннымъ. Хотя заряды по проволокѣ исчезаютъ съ колоссальной быстротой, тѣмъ не менѣе въ элементахъ батареи электродвижущая сила между металломъ и жидкимъ проводникомъ, которая съ громадной скоростью постоянно доставляетъ вновь раздѣленные заряды, успѣваетъ поддерживать заряды полюсовъ. Конечно, образованiе новыхъ зарядовъ въ батареѣ не такъ очевидно, какъ въ электрической машинѣ. Тѣмъ не менѣе, въ послѣдней главѣ мы познакомимся съ методомъ наблюденiя и измѣренiя зарядовъ, который позволяетъ сразу количественно-точно опредѣлить заряды, доставленные батареей (стр. 184). Конечно и внутри проволоки, по которой идетъ токъ, существуетъ электрическое поле, что можно весьма просто обнаружить, соединивши электрометръ съ двумя различными точками проволоки. Это электриче-

скос поле гонитъ заряженныя частички, іоны, такъ что они и начинаютъ скользить черезъ поры между молекулами металла, и образуютъ электрическій токъ.

Магнитное состояніе эфира.

Эфиръ можетъ находиться не только въ электрическомъ, но еще и въ иномъ состояніи, поддающемся такому же строгому опредѣленію и такому же точному измѣренію, именно въ магнитномъ состояніи. Его обнаружили сперва вокругъ нѣкоторыхъ тѣлъ, которыя назвали магнитами, и которыя удобнѣе всего можно изготовлять изъ стали. Наличность этого состоянія можно легче всего констатировать при помощи магнитной стрѣлки. Магнитная стрѣлка, какъ извѣстно, имѣетъ на концахъ своихъ двѣ точки, изъ которыхъ исходитъ ея поле,—два *магнитныхъ полюса*. Съ другой стороны, къ этимъ точкамъ, видимо, приложены тѣ силы, съ которыми эфиръ дѣйствуетъ на магнитную стрѣлку, когда она находится въ большомъ магнитномъ полѣ; при этомъ силы, дѣйствующія на оба полюса, равны и противоположны, такъ что стрѣлка вообще испытываетъ нѣкоторый вращающій моментъ, который стремится установить ее въ опредѣленномъ направленіи. Оба полюса различаютъ, считая одинъ за положительный, а другой за отрицательный полюсъ стрѣлки. Если разъ навсегда согласиться считать опредѣленный полюсъ опредѣленнаго магнита положительнымъ, то, сравнивая направленія силъ, которыя испытываютъ этотъ «нормальный полюсъ» и какой-либо иной полюсъ въ магнитномъ полѣ, можно опредѣленно установить, является ли послѣдній положительнымъ или отрицательнымъ. Этотъ пріемъ практически очень легко осуществить, потому что земной шаръ самъ намагниченъ и тоже имѣетъ два магнитныхъ полюса, которые лежатъ вблизи географическихъ полюсовъ. Въ магнитномъ полѣ земли всякая магнитная стрѣлка устанавливается въ направле-

ніи съ сѣвера на югъ (компасъ). Условились всегда считать положительнымъ тотъ полюсъ, который въ полѣ земли указываетъ на сѣверъ, а тотъ, который направленъ на югъ—считать отрицательнымъ.

Мы вскорѣ увидимъ, что магнитные полюсы нельзя разсматривать, какъ нѣчто столь же принципіально простое, какъ электрическіе заряды матеріи, которые не поддаются дальнѣйшему объясненію, но что появленіе магнитныхъ полюсовъ требуетъ особаго, далеко не простого теоретическаго объясненія. Вслѣдствіе этого для строго научнаго опредѣленія величинъ, характеризующихъ магнитное поле, нельзя пользоваться силами, дѣйствующими на магнитный полюсъ; но мы вскорѣ познакомимся съ явленіями, которыя мы должны разсматривать, какъ принципіально простыя, и которыя, вслѣдствіе этого, особенно пригодны для опредѣленія магнитнаго состоянія. Съ другой стороны, силовыя дѣйствія на магниты настолько удобны для наблюденія и настолько общеизвѣстны, что мы все-таки можемъ ими пользоваться на первыхъ порахъ, чтобы нѣсколько разобраться въ магнитномъ состояніи вакуума.

Магнитная стрѣлка устанавливается въ магнитномъ полѣ въ совершенно опредѣленномъ направленіи и удерживается въ этомъ направленіи подъ вліяніемъ направляющей силы, дѣйствующей со стороны эфира. Величину этой направляющей силы мы можемъ принять за мѣру интенсивности магнитнаго состоянія. Кромѣ того, мы должны ему приписать опредѣленное направленіе; за это направленіе мы возьмемъ то, которое указываетъ положительный полюсъ магнитной стрѣлки.

Для того, чтобы полностью опредѣлить *магнитное состояніе эфира, мы должны, такъ же, какъ и въ случаѣ электрическаго поля, говорить о немъ, какъ о направленной величинѣ.*

Положительный и отрицательный полюсы различаются также въ томъ отношеніи, что исходящія изъ нихъ магнитныя поля имѣютъ противоположное направленіе.

Подвижной положительный полюсъ подъ вліяніемъ силъ, дѣйствующихъ со стороны эфира, отталкивается отъ положительнаго полюса магнита и притягивается къ отрицательному. Слѣдовательно, магнитныя силовыя линіи выходятъ изъ положительнаго полюса и входятъ въ отрицательный.

Магнитное поле представляется во всѣхъ отношеніяхъ сходнымъ съ электрическимъ, и нечего удивляться, что непосвященные люди въ большинствѣ случаевъ не могутъ отличить другъ отъ друга оба вида силовыхъ полей и почти постоянно смѣшиваютъ ихъ. Тѣмъ не менѣе, мы имѣемъ здѣсь дѣло не только съ двумя различными состояніями эфира, но и самая аналогія между ними является лишь весьма поверхностной; болѣе близкое изслѣдованіе показываетъ, что въ дѣйствительности они весьма различны.

Я уже упомянулъ, что магнитный полюсъ ни въ коемъ случаѣ не является чѣмъ-то такимъ же принципіально простымъ, какъ, напримѣръ, электрическій зарядъ. Дѣйствительно, магнитные полюсы, вообще, вовсе не являются тѣми мѣстами, гдѣ матерія возбуждаетъ магнитное поле. Это вытекаетъ изъ слѣдующаго разсужденія. Положительный и отрицательный зарядъ можно сообщить двумъ различнымъ тѣламъ, между которыми возникаетъ тогда поле. Съ магнитными полюсами нельзя произвести ничего подобнаго. Не существуетъ ни положительныхъ, ни отрицательныхъ магнитныхъ тѣлъ, но каждый магнитъ одновременно имѣетъ тотъ и другой полюсъ. Казалось бы, что можно отдѣлить другъ отъ друга оба полюса намагниченной стальной спицы, если разломить ее въ серединѣ, гдѣ изъ спицы не исходитъ поля. Но если дѣйствительно произвести опытъ, то окажется, что оба обломка снова являются полными магнитами, каждый съ двумя полюсами. На мѣстѣ разлома въ одномъ кускѣ вновь образовался положительный полюсъ, въ другомъ—отрицательный. Если мы положимъ оба обломка другъ около друга такъ, какъ они лежали

раньше, однако оставивши небольшой промежутокъ, то въ этомъ промежуткѣ возникнетъ магнитное поле, направленное отъ одного полюса къ другому. Если мы станемъ придвигать оба обломка ближе другъ къ другу, то силовыя линіи будутъ постепенно укорачиваться, и, наконецъ, когда мы снова соединимъ оба куска въ одинъ стержень, силовыя линіи стянутся до молекулярныхъ размѣровъ. Тогда новыхъ полюсовъ уже нельзя будетъ замѣтить, потому что ихъ поле больше не будетъ выходить наружу. Но мы должны, само собой разумѣется, принять, что внутри оно все-таки существуетъ. То же самое справедливо для любого поперечнаго сѣченія, которое мы можемъ мысленно провести черезъ стержень, такъ какъ мы можемъ разломить его вездѣ, а тамъ, гдѣ мы это сдѣлаемъ, мы найдемъ то же самое. Изъ этого слѣдуетъ, что магнитное поле проходитъ вдоль всего стержня, внутри его, и что на концахъ стержня, гдѣ находятся полюсы, это внутреннее поле только выходитъ въ наружное пространство. Здѣсь силовыя линіи идутъ отъ положительнаго полюса къ отрицательному по криволинейныхъ путямъ; дойдя до отрицательнаго полюса, онѣ снова входятъ въ магнитъ и идутъ параллельно оси стержня къ положительному полюсу, образуя замкнутыя кривыя. Эта особенность видна на рис. 25, который изображаетъ поле обыкновеннаго прямого магнита.

Магнитныя силовыя линіи не имѣютъ ни начала, ни конца; онѣ являются замкнутыми кривыми. Не существуетъ магнитныхъ зарядовъ, которые могли бы возбуждать магнитное поле въ эфирѣ.

Такимъ образомъ, магнитные полюсы только на первый взглядъ имѣютъ для магнитнаго поля такое же значеніе, какъ заряды для электрическаго. Едва ли надо говорить, что мы изъ этого должны заключить, что и силы, дѣйствующія на магнитъ со стороны эфира, когда онъ находится въ магнитномъ состояніи, ни въ коемъ случаѣ не приложены къ полюсамъ, которые явля-

ются вѣдь лишь математически обозначенными точками начала и конца магнита. Въ дѣйствительности всѣ молекулы намагниченнаго стержня, помѣщеннаго въ большомъ магнитномъ полѣ, испытываютъ малые вращающіе моменты и сумма ихъ составляетъ тотъ вращающій моментъ, который испытываетъ весь стержень.

Но различіе между природой магнитнаго и электрическаго поля идетъ еще дальше. У направленія электриче-

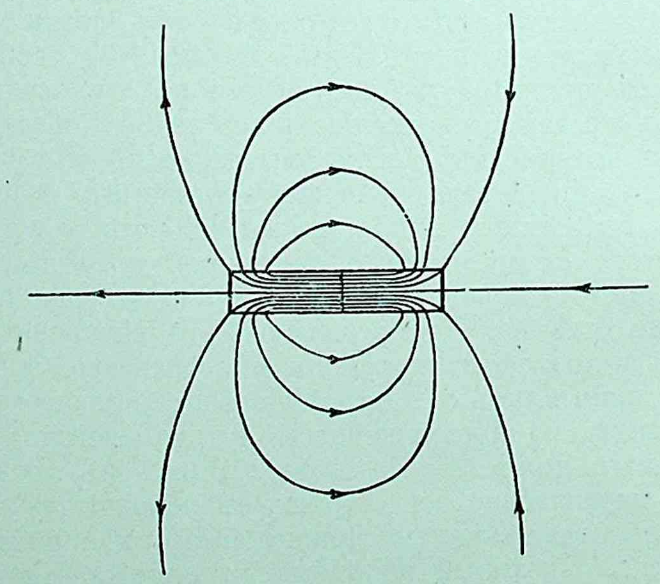


Рис. 25. Магнитныя силовыя линіи всегда замкнуты на себя.

скаго поля передняя и задняя сторона обладаютъ дѣйствительнымъ физическимъ различіемъ. Силовыя линіи идутъ, напримѣръ, отъ натертой стеклянной палочки къ натертой эбонитовой палочкѣ, или, внутри гальваническаго элемента, отъ цинка къ мѣди. Дальнѣйшимъ интереснымъ примѣромъ является возбужденіе электрическаго поля пироэлектрическимъ кристалломъ, о чемъ мы прежде не упоминали. Такой пироэлектрическій кристаллъ при нагрѣваніи пріобрѣтаетъ на концахъ своихъ два противоположныхъ электрическихъ полюса, изъ

которыхъ выходятъ наружу электрическія силовыя линіи. Такимъ образомъ, подобный кристаллъ даетъ электрическую аналогію прямого магнита. Но тутъ чрезвычайно поучительно замѣтить, что оба конца его, какъ показываетъ уже самый видъ кристалла, напримѣръ, въ сильной степени пироэлектрическаго турмалина (рис. 26), совершенно различны. Совсѣмъ иное дѣло—магниты. Направленіе магнитныхъ силовыхъ линій нельзя узнать по какимъ-либо физическимъ признакамъ. Оба полюса прямого магнита, напр., физически во всѣхъ отношеніяхъ одинаковы, они различаются только, такъ сказать, геометрически, именно—направленіемъ исходящаго изъ нихъ поля. Поэтому, положительный и отрицательный полюсы можно различать только по чисто геометрической или, если угодно, географической оріентировкѣ (сѣверъ—югъ), между тѣмъ, какъ разница между положительнымъ и отрицательнымъ зарядами отмѣчается вещественными признаками. Направленныя величины, у которыхъ обѣ стороны различаются только чисто геометрически, встрѣчались и прежде въ физикѣ; типичнымъ примѣромъ ихъ является ось вращенія. Она также имѣетъ опредѣленное направленіе, у нея также можно различать двѣ стороны. Въ самомъ дѣлѣ, если смотрѣть съ одной стороны, то вращеніе представляется происходящимъ направо, если смотрѣть съ другой стороны—налѣво. Первой изъ названныхъ сторонъ присваиваютъ, обыкновенно, имя положительнаго полюса вращенія оси. Такъ, напримѣръ, положительное направленіе земной оси вращенія есть направленіе съ южнаго полюса на сѣверный. Установленіе знака оси вращенія, совершенно такъ же, какъ и знака магнитныхъ силовыхъ линій, основано на чисто-геометрическихъ признакахъ. Направленныя величины этого рода называютъ

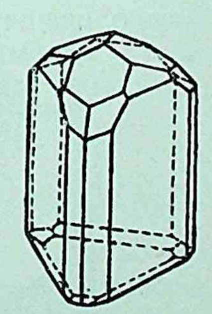


Рис. 26. Естественно-образованный кристаллъ турмалина.

аксіальными векторами, или *роторами*. Направленныя же величины такого характера, какъ вѣтеръ или электрическое состояніе, называютъ полярными векторами, или просто векторами.

Электрическое состояніе эфира есть векторъ, магнитное состояніе—роторъ.

Я, пожалуй, поясню еще аналогію между магнитными силовыми линіями и осью вращенія при помощи маленькаго механическаго эксперимента, обстановка котораго изображена на рис. 27. На длинной оси, которую можно вращать при помощи рукоятки, находится нѣ-

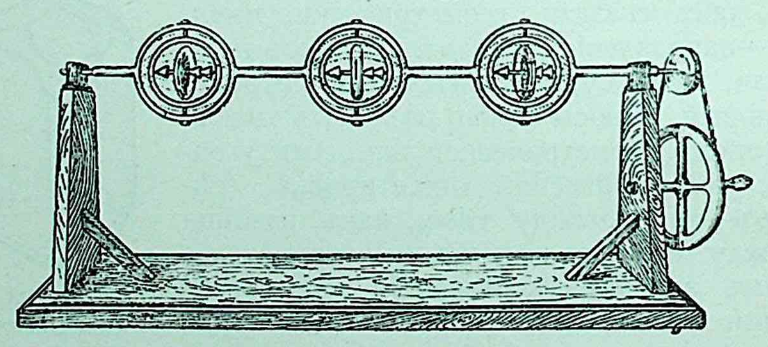


Рис. 27. Модель магнитныхъ силовыхъ линій.

сколько широкихъ колецъ. Въ каждомъ изъ этихъ колецъ на такъ наз. кардановомъ подвѣсѣ укрѣплено по волчку. На осяхъ этихъ волчковъ находятся маленькіе конусы, которые придаютъ осямъ видъ стрѣлокъ. Мы приводимъ, прежде всего, всѣ волчки во вращеніе, и притомъ такъ, чтобы это вращеніе представлялось происходящимъ вправо, если смотрѣть по направленію стрѣлки. Кардановы кольца должны быть укрѣплены такимъ образомъ, чтобы оси волчковъ можно было устанавливать подъ любымъ угломъ къ большой оси. Какъ только мы начнемъ вращать при помощи рукоятки эту послѣднюю, всѣ волчки сразу установятся своими осями вращенія въ одинаковомъ направленіи съ большой осью. Если перемѣнить вращеніе рукоятки на противоположное, то

всѣ волчки перевернутся на 180°, и, покачавшись немного въ ту и другую сторону, снова установятся такъ, что направленіе ихъ осей вращенія будетъ опять совпадать съ направленіемъ большой оси. Это явленіе совершенно аналогично тому, какъ магнитная стрѣлка устанавливается по направленію поля. Большая ось вращенія изображаетъ силовую линію, волчки—удобовращаемые магнитики, помѣщенные въ полѣ. Прямой магнитъ, точнѣе говоря, его внутреннее, особенно сильное поле, имѣетъ, какъ и волчокъ, характеръ ротора, и магнитъ устанавливается въ магнитномъ полѣ, какъ и волчокъ въ только что описанномъ опытѣ, такимъ образомъ, чтобы его внутреннее поле было параллельно направленію большого внѣшняго поля.

Магнитное состояніе эфира и электрическій токъ.

Въ 1820 году датскій физикъ Эрстедъ открылъ, что вокругъ проводника, въ которомъ идетъ электрическій токъ, существуетъ магнитное поле. Тѣмъ самымъ была найдена первая связь между электрическими и магнитными явленіями.

Легко установить, какъ идутъ силовыя линіи магнитнаго поля тока. Если прочная мѣдная проволока натянута вертикально, и концы ея соединены съ полюсами электрической батареи, такъ что по проволокѣ течетъ токъ, то вблизи ея магнитная стрѣлка всегда устанавливается препендикулярно къ линіи, идущей отъ проволоки къ центру стрѣлки. Слѣдовательно, если перемѣщать магнитную стрѣлку по окружности около проволоки, то направленіе стрѣлки будетъ всегда совпадать съ касательной къ этой окружности. Стало быть, сами магнитныя силовыя линіи суть окружности. На рис. 28 внутренній заштрихованный кругъ долженъ обозначать поперечное сѣченіе проволоки, по которой идетъ токъ; его окружаютъ магнитныя силовыя линіи. На рис. 29 чтожающія. И притомъ электрическія напряженія, воз-

изображается стержнемъ, а отдѣльныя магнитныя силовыя линіи—концентричными кольцами, окружающими этотъ стержень.

Электрическихъ токовъ безъ окружающаго магнитнаго поля не существуетъ. Между токомъ и магнитнымъ полемъ имѣется строжайшая зависимость; чѣмъ больше сила тока, тѣмъ интенсивнѣе магнитное поле, при чемъ проводникъ опредѣленной формы при одной и той же силѣ тока всегда бываетъ окруженъ тѣмъ же самымъ магнитнымъ полемъ, независимо отъ того, изъ какого вещества состоитъ проводникъ.

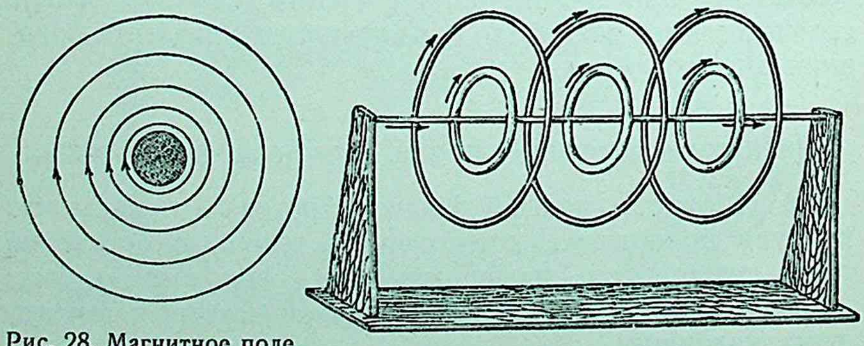


Рис. 28. Магнитное поле проводника, по которому идетъ токъ.

Рис. 29. Модель магнитныхъ силовыхъ линій вокругъ прямолинейнаго тока.

Сила магнитнаго поля есть мѣра интенсивности процесса электрическаго разряда въ проводникѣ.

Поэтому для измѣренія силы электрическаго тока пользуются большей частью его магнитнымъ полемъ. Приборы для измѣренія силы тока называютъ *гальванометрами* или, если они проградуированы, *амперметрами* (по единицѣ силы тока, «*амперу*»). Большинство этихъ инструментовъ состоитъ изъ неподвижной проволочной катушки, черезъ которую пропускаютъ измѣряемый токъ; внутри этой катушки виситъ удобовращающійся магнитъ, который удерживается направляющей силой въ опредѣленномъ нулевомъ положеніи. Магнитное поле проходящаго тока отклоняетъ магнитъ изъ этого

нулевого положенія, и тѣмъ больше, чѣмъ сильнѣе токъ. Къ магниту прикрѣпленъ указатель, отклоненіе котораго служитъ мѣрой силы тока. Такимъ образомъ принципъ амперметра состоитъ въ томъ, что магнитное поле тока вносится въ инструментъ и измѣряется по отклоненію магнита.

Существующая между магнитнымъ полемъ и электрическимъ разрядомъ постоянная и закономѣрная связь приводитъ насъ къ убѣжденію, что *въ магнитномъ полѣ тока мы имѣемъ передъ собой именно тѣ процессы въ эфирѣ, которые возобновляютъ постоянно разрушающіяся въ проводникѣ электрическія напряженія.* Слѣдовательно, магнитное поле тока и самый токъ въ проводникѣ суть лишь различныя проявленія одного и того же физическаго процесса.

Связь между магнитнымъ полемъ и токомъ можно иллюстрировать простой механической аналогіей. Вообразимъ вмѣсто магнитной силовой линіи механическій роторъ, направленіе котораго образуетъ кольцо; именно: представимъ себѣ ось, на которую насажено множество одинаково вращающихся маленькихъ колесъ, и которая согнута кольцомъ. Будемъ вдвигать въ это кольцо цилиндрическій шестъ, который настолько толстъ, что касается одновременно всѣхъ колесъ; тогда эти послѣднія должны начать передвигаться въ опредѣленномъ направленіи. Кольцеобразно замкнутый роторъ даетъ такимъ образомъ начало полярному вектору, именно поступательному движенію стержня, и этотъ векторъ находится въ такомъ же отношеніи къ ротору, какъ токъ къ магнитному полю.

Особенно проста картина магнитнаго поля внутри «соленоида». Подъ соленоидомъ подразумѣваютъ длинный полый цилиндръ, который состоитъ изъ круговъ, обтекаемыхъ токомъ, или практически говоря: длинная цилиндрическая катушка съ равномѣрной тонкой и частой обмоткой, черезъ которую пропускаютъ токъ. Магнитное поле соленоида имѣетъ такой же видъ, какъ поле ци-

линдрическаго магнита, изображенное на рис. 25 (стр. 162). Силовыя линіи образуютъ замкнутыя кривыя, которыя обходятъ вокругъ проволокъ обмотки. Внутри соленоида имѣется прямолинейное равномѣрное поле, въ которомъ силовыя линіи параллельны оси. Такимъ образомъ, соленоидъ есть, такъ сказать, отрѣзокъ магнитной силовой трубки, стѣнки которой образованы *вращающимися* электрическими токами, и которая снаружи замыкается сравнительно слабымъ полемъ. Опредѣленной силѣ поля силовой трубки соотвѣтствуетъ всегда опредѣленное число витковъ тока на сантиметрѣ. Существуютъ даже удобные методы, позволяющіе опредѣлить во всякомъ мѣстѣ поля эквивалентное ему число витковъ тока на сантиметрѣ. Эти методы сводятся къ сравненію даннаго поля съ равнымъ ему полемъ соленоида. Такимъ образомъ, величина, которую опредѣляютъ эти строго научные методы, есть безусловно роторъ.

Соленоидъ ведетъ насъ, кромѣ того, къ глубокимъ воззрѣніямъ на сущность магнетизма. Амперъ впервые создалъ теорію, которая въ настоящее время безъ возраженій принята всѣми теоретиками. Теорія эта состоитъ въ томъ, что молекулы желѣза обтекаются маленькими электрическими токами. Если всѣ или почти всѣ эти молекулярные соленоиды параллельны, то они даютъ въ цѣломъ поле, подобное полю одного большого соленоида, т.-е. то, которое изображено на рис. 25. Изъ этой теоріи съ полной очевидностью вытекаетъ, что молекулы магнита и самъ магнитъ не могутъ проявлять полярныхъ различій. Далѣе, изъ нея слѣдуетъ, что магнитное состояніе эфира проявляется только въ сопровожденіи электрическаго тока, и что, слѣдовательно, не существуетъ такого связующаго звена между матеріей и эфиромъ, которое возбуждало бы магнитное поле, подобно тому, какъ электрическій зарядъ возбуждаетъ электрическое поле.

Какъ на частицу, заряженную электричествомъ, въ эфирѣ, приведенномъ въ состояніе электрическаго на-

пряженія, дѣйствуютъ извѣстныя силы, такъ и на токъ, въ виду того, что онъ самъ окруженъ магнитнымъ полемъ, дѣйствуютъ со стороны эфира нѣкоторыя силы, если внести этотъ токъ въ обширное магнитное поле. Напримѣръ, на соленоидъ, обтекаемый токомъ, въ большомъ магнитномъ полѣ дѣйствуетъ вращающій моментъ, который стремится установить соленоидъ такъ, чтобы внутреннее поле было параллельно внѣшнему (сравн. стр. 165). Тѣмъ самымъ объясняется дѣйствіе поля на магнитъ. Это дѣйствіе не сосредоточивается, какъ иногда думали раньше, на обоихъ полюсахъ, куда приложены силы, но каждый отдѣльный молекулярный соленоидъ испытываетъ вращающій моментъ, а тотъ, который наблюдается у всего магнита, есть сумма такихъ молекулярныхъ вращающихъ моментовъ.

Магнитное состояніе эфира проявляется тогда, и только тогда, когда имѣется электрическій токъ. Но электрическій токъ, какъ мы уже видѣли выше, состоитъ изъ движенія заряженныхъ частицъ. Поэтому мы можемъ сказать также, что магнитное состояніе эфира наступаетъ при движеніи электрически-заряженныхъ частицъ и только въ этомъ случаѣ. Справедливость этого закона можно подтвердить экспериментально, приводя въ быстрое вращеніе заряженный кругъ. Тогда вокругъ него дѣйствительно возникаетъ магнитное поле, которое имѣетъ такой же видъ, какъ поле кругового тока.

Къ глубокому представленію о сущности магнитнаго состоянія эфира ведетъ насъ слѣдующее разсужденіе:— Электрическое поле, которое является, вѣдь, особымъ состояніемъ эфира, не можетъ само по себѣ измѣняться; тамъ, гдѣ наступаетъ измѣненіе, безусловно должны дѣйствовать особыя причины, вызывающія его. Это, пожалуй, можно особенно хорошо пояснить сравненіемъ, заимствованнымъ изъ обыкновенной механики. Мы сравнили выше электрическое состояніе съ упругимъ натяженіемъ осязаемыхъ веществъ. Упругое натяженіе все-

гда является связаннымъ съ деформаціей матеріи; поэтому оно можетъ измѣняться только тогда, когда происходятъ хотя бы самыя ничтожныя движенія частицъ матеріи. Эти движенія являются здѣсь тѣми причинами, о которыхъ я только что говорилъ, ибо они обусловливаютъ прежде всего измѣненія деформаціи, а тѣмъ самымъ и измѣненія натяженія.

Если вакуумъ въ томъ мѣстѣ, гдѣ имѣется электрическое поле, дѣйствительно находится въ особомъ состояніи, то измѣненіе этого состоянія, такъ же какъ измѣненіе упругаго натяженія осязаемой матеріи, должно быть обусловлено особымъ процессомъ. Этотъ процессъ есть какъ разъ то, что мы называемъ магнитнымъ полемъ. Поэтому каждая изъ движущихся заряженныхъ частицъ окружена маленькимъ магнитнымъ полемъ, благодаря которому электрическія натяженія съ соотвѣтствующей скоростью прекращаются сзади частицы и возникаютъ вновь впереди ея. Безъ этого магнитнаго поля движеніе частицъ было бы невозможно, такъ какъ частица при поступательномъ движеніи не можетъ оставлять за собой электрическаго поля. Поэтому прежде чѣмъ можетъ начаться перемѣщеніе частицъ, въ эфирѣ должно быть возбуждено какимъ-нибудь образомъ магнитное состояніе, которое должно сопровождать частицу и въ дальнѣйшемъ ея движеніи.

Но магнитное состояніе должно распространяться въ эфирѣ и распредѣляться по нѣкоторымъ опредѣленнымъ законамъ. При такомъ распредѣленіи оно имѣетъ слѣдствіемъ переносъ маленькихъ подвижныхъ электрическихъ полей, но въ остальномъ не вызываетъ никакихъ измѣненій въ электрическихъ натяженіяхъ. Чтобы выяснить это, я опять прибѣгну къ помощи механическаго сравненія. Вообразимъ вмѣсто эфира механизмъ, состоящій изъ громаднаго числа зацѣпившихся другъ за друга зубчатыхъ колесиковъ. Если въ какой-нибудь малой области происходитъ нѣкоторый процессъ, приводящій въ этой области колеса въ движеніе, то вращеніе

распространяется на весь механизмъ; иначе въ томъ мѣстѣ, гдѣ сцѣпляются вращающіяся и неподвижныя колеса, напряженія зубцовъ стали бы не постоянными. Вращеніе колесика, которое само не принимаетъ участія въ процессѣ, вызывающемъ все движеніе, подчиняется при этомъ опредѣленному закону, ибо движеніе нигдѣ не должно сопровождаться мѣстными застоями. Мы назовемъ это состояніе стаціонарнымъ вращеніемъ всего механизма. Ему аналогичны стаціонарныя магнитныя поля въ эфирѣ, гдѣ сила поля регулирована нѣкоторымъ опредѣленнымъ образомъ, такъ что поле не вызываетъ ни возникновенія электрическаго напряженія, ни уничтоженія его, ни, вообще, какого бы то ни было измѣненія прежде существовавшихъ электрическихъ напряженій. Стаціонарнымъ является, напр., поле магнита. Точно такъ же, большое магнитное поле, окружающее проволоку, по которой идетъ токъ,—является стаціонарнымъ. Если бы маленькія, перемѣщающіяся съ іонами, магнитныя поля, которыя обусловливаютъ переносъ электрическаго состоянія, были ограничены, то должны были бы, какъ это можно усмотрѣть изъ аналогіи съ механизмомъ, наступить измѣненія напряженій, процессъ не могъ бы быть стаціонарнымъ. Именно, при отсутствіи внѣшняго магнитнаго поля наступили бы такія измѣненія напряженій, что электрическое поле, которое вызываетъ потокъ іоновъ, уменьшилось бы до нуля, и токъ, поэтому, быстро прекратился бы. Большое внѣшнее магнитное поле служитъ, слѣдовательно, какъ мы уже упомянули на стр. 167, для того, чтобы, несмотря на перемѣщенія іоновъ, поддерживать электрическія напряженія постоянными.

Явленія индукціи.

Только что изложенное представленіе вызываетъ сразу дальнѣйшій вопросъ: какимъ образомъ возникаютъ магнитныя состоянія эфира? И на этотъ вопросъ даютъ

отвѣтъ экспериментальные факты, при правильномъ ихъ освященіи.

Я напомню вамъ часто употребляющійся *индукторій*. Онъ состоитъ, въ главныхъ чертахъ, изъ двухъ цилиндрическихъ проволочныхъ катушекъ, одна изъ которыхъ находится внутри другой. Внѣшняя, такъ называемая вторичная катушка, имѣетъ чрезвычайно большое число оборотовъ тонкой, тщательно изолированной проволоки, концы которой соединены съ двумя клеммами—вторичными клеммами. Внутренняя, такъ называемая первичная катушка состоитъ изъ сравнительно небольшого числа оборотовъ довольно толстой проволоки; въ полость ея вставленъ стержень изъ мягкаго желѣза. Первичная катушка соединяется съ источникомъ тока, напримѣръ, съ аккумуляторной батареей, при чемъ въ эту первичную цѣпь включается особый, постоянно дѣйствующій прерыватель, который въ быстрой послѣдовательности попеременно замыкаетъ и прерываетъ ее. Токъ сопровождается сильнымъ магнитнымъ полемъ въ желѣзномъ сердечникѣ, которое, вслѣдствіе прерываній тока, должно то возникать, то снова уничтожаться. На индукторіи можно непосредственно наблюдать тѣ процессы въ эфирѣ, которые сперва вызываютъ магнитное поле, а потомъ снова его разрушаютъ. Именно, при всякомъ измѣненіи магнитнаго поля на клеммахъ катушки возникаютъ сильныя электрическія напряженія, особенно ясно замѣтныя на клеммахъ вторичной обмотки. Изъ-за многоразличныхъ примѣненій этихъ, такъ называемыхъ *индуцированныхъ напряженій*, и строится самъ аппаратъ. Слѣдовательно, въ окрестностяхъ перемѣннаго магнитнаго поля, эфиръ заполненъ своеобразными электрическими напряженіями. На основаніи представленій, принятыхъ, начиная съ *Максвелла*, эти напряженія находятся въ причинной связи съ измѣненіями магнитнаго поля. Передъ нами здѣсь дѣйствія, вызывающія магнитное состояніе эфира и снова его уничтожающія. И притомъ электрическія напряженія, воз-

буждающія магнитное поле, имѣютъ направленіе, противоположное направленію разрушающихъ его напряженій.

Если мы соединимъ между собой проводникомъ оба полюса вторичной обмотки индукторія, то электрическія напряженія, связанныя съ измѣненіями магнитнаго поля, вызовутъ въ обмоткѣ и въ соединительной проволокѣ довольно сильные электрическіе токи. Этотъ фактъ чрезвычайно замѣчателенъ: если мы въ электрическое поле, окружающее какой-либо заряженный проводникъ, внесемъ замкнутую проволочную катушку, то въ ней не возникнетъ вовсе замѣтнаго тока. Образуются только наведенные заряды, на которыхъ будутъ заканчиваться силовыя линіи, не проникая внутрь проводника, и поле останется въ равновѣсіи. Съ другой стороны, напряженія электрическаго поля, которыя связаны съ измѣненіями магнитнаго состоянія эфира, не подчиняются формулированному на стр. 143 условію равновѣсія. Такъ, напримѣръ, электрическія силовыя линіи вокругъ прерывисто намагничивающагося сердечника индукторія, имѣютъ приблизительно форму окружностей и, вслѣдствіе этого, заставляютъ іоны въ виткахъ вторичной обмотки двигаться повсюду въ одномъ и томъ же направленіи, такъ что можетъ возникнуть токъ. Круговыя или, вообще, какія бы то ни было замкнутыя силовыя линіи не совмѣстимы съ условіемъ равновѣсія, формулированнымъ на стр. 143.

Измѣненіе магнитнаго состоянія эфира обязательно сопровождается появляющимися при этомъ электрическими напряженіями, не находящимися въ равновѣсіи.

Весьма удобно вспомнить при этомъ совершенно аналогичныя явленія при механическихъ процессахъ въ осязаемыхъ средахъ. Мы будемъ снова, какъ мы уже это выше дѣлали, сравнивать электрическія напряженія съ упругими натяженіями, а магнитное состояніе—съ состояніемъ движенія въ осязаемой средѣ. До тѣхъ поръ, пока натяженія выполняютъ условіе равновѣсія, имѣю-

щее мѣсто для данной среды,—все остается въ покоѣ, но лишь только равновѣсіе какимъ-нибудь образомъ будетъ нарушено, натяженія вызовутъ движенія.

Въ качествѣ простого примѣра индукціонныхъ явленій, быть можетъ, удобно будетъ разсмотрѣть нѣсколько ближе процессы, совершающіеся въ индукторіи. Когда замыкается первичная цѣпь, то клеммы первичной обмотки тотчасъ же заряжаются до напряженія батареи, питающей индукторіей. Это напряженіе еще не уравновѣшивается напряженіями въ проводникѣ, которыя возникаютъ, вслѣдствіе электрическаго сопротивленія, при стаціонарномъ токѣ, ибо токъ еще не развился. Слѣдовательно, напряженія эфира сперва не находятся въ равновѣсии; это доказывается тѣмъ, что, если клеммы вторичной обмотки соединены проводникомъ, то въ моментъ замыканія въ ней появляется «индукціоннный токъ». Не уравновѣшивающіяся напряженія вызываютъ теперь все болѣе и болѣе возрастающее магнитное поле въ желѣзномъ стержнѣ и,—что собственно то же самое,—возрастающій токъ въ первичной обмоткѣ. Когда, наконецъ, токъ достигнетъ такой величины, что напряженія, вызываемыя электрическимъ сопротивленіемъ, уравновѣсятъ напряженіе на клеммахъ, то состояніе сдѣлается стаціонарнымъ: первичный токъ будетъ имѣть постоянную величину, а во вторичной цѣпи токъ прекратится. Слѣдовательно, во вторичной цѣпи появляется лишь кратковременный токъ, длящійся столько, сколько времени развивается магнитное поле. Если разомкнуть первичную цѣпь, то магнитное поле въ короткое время уменьшится до нуля. Такъ какъ это произойдетъ очень быстро, то въ эфирѣ появятся очень большія напряженія, которыя и уничтожатъ магнитное поле. Эти напряженія будутъ направлены обратно тѣмъ, которыя прежде вызвали магнитное поле и, обыкновенно, значительно выше ихъ. Они не будутъ, конечно, выполнять условія равновѣсія и, вслѣдствіе этого, на клеммахъ вторичной обмотки возникнетъ кратковременное, чрез-

вычайно высокое напряженіе, которое въ свою очередь вызоветъ токъ, если клеммы будутъ соединены проводникомъ.

Механической аналогіей для индукторія можетъ служить маховое колесо большой массы, которое попеременно приводятъ во вращеніе и останавливаютъ. Представимъ себѣ, что это дѣлается при помощи рукоятки, соединенной съ маховикомъ системой зубчатыхъ колесъ. При поворачиваніи рукоятки на зубцахъ наступаютъ упругія напряженія, которыя не уравновѣшиваются никакой силой, приложенной къ оси махового колеса, а потому они вызываютъ все болѣе и болѣе ускоряющееся вращеніе маховика. Эти напряженія, которыя аналогичны электрическимъ напряженіямъ при замыканіи первичной цѣпи индукторія, обусловлены силой, затрачиваемой на вращеніе; при этомъ они по своей величинѣ являются вполнѣ опредѣленными, подобно тому, какъ напряженія при замыканіи первичнаго тока опредѣляются примѣненнымъ источникомъ электричества. При вращеніи колеса проявляется не только сопротивленіе вслѣдствіе инерціи, которое противоположно ускоренію его вращенія, но и треніе оси въ подшипникахъ. Это треніе возрастаетъ вмѣстѣ со скоростью и, въ концѣ-концовъ, становится настолько значительнымъ, что уравнобѣшиваетъ приложенную силу. Тогда состояніе дѣлается стаціонарнымъ, всѣ силы и напряженія уравновѣшиваются; скорость вращенія, при постоянной вращающей силѣ, остается также постоянной. Треніе оси въ подшипникахъ есть механическая аналогія электрическаго сопротивленія первичной цѣпи. Въ качествѣ аналогіи прерывателя представимъ себѣ какую-либо задержку, которая внезапно останавливаетъ рукоятку. Такъ какъ тогда и маховикъ, несмотря на его большую массу, долженъ будетъ остановиться въ теченіе очень короткаго промежутка времени, то въ зубцахъ механизма возникнутъ колоссальныя напряженія, которыя могли бы сломать зубцы, если бы они не были очень

прочны. Эти большія упругія напряженія при внезапной задержкѣ движенія соотвѣтствуютъ высокимъ электрическимъ напряженіямъ, которыя развиваются въ индукторіи при внезапномъ размыканіи тока.

Изъ всего изложеннаго можно видѣть, что *Максвелловская* точка зрѣнія позволила процессы въ вакуумѣ, которые сами по себѣ недоступны нашимъ органамъ чувствъ, узнавать по дѣйствіямъ, оказываемымъ имъ на осязаемыя тѣла, и изслѣдовать эти процессы во всѣхъ ихъ особенностяхъ. Дѣйствительно, благодаря примѣненію этого метода мы изучили законы взаимоотношенія электрическаго и магнитнаго состоянія вакуума такъ же хорошо, какъ и законы механическихъ процессовъ въ осязаемыхъ тѣлахъ, можно даже сказать—лучше, такъ какъ процессы въ вакуумѣ можно описать весьма простыми, повидимому, абсолютно точными математическими формулами, въ то время, какъ простыя закономѣрности, наблюденныя у осязаемой матеріи, являются лишь большими или меньшими приближеніями.

Электрическія волны.

Если въ ограниченномъ участкѣ осязаемой среды вызвать измѣненіе состоянія натяженія, то оно будетъ распространяться; при чемъ извѣстно, что распространеніе это будетъ состоять не въ томъ, что въ средѣ вскорѣ снова установится равновѣсіе, но въ томъ, что изъ даннаго мѣста, какъ изъ центра, съ опредѣленной скоростью, доступной теоретическому предвычисленію, пойдетъ упругая волна. Если, напримѣръ, хлопнувши въ ладоши, тѣмъ самымъ сразу сжать воздухъ между ними, то возникшая такимъ образомъ разность упругостей воздуха не выравнивается просто, но образуется волна сгущенія, которая окружаетъ центръ сгущенія въ видѣ шаровой оболочки, и эта оболочка распространяется радіально во всѣ стороны со скоростью 340 m/sec. Когда же волна сгущенія достигаетъ нашего уха, то мы вос-

принимаемъ ее, какъ трескъ. Особенность этого процесса состоитъ въ томъ, что здѣсь внезапная разность давленій возникаетъ въ *свободномъ* воздухѣ, между тѣмъ какъ стаціонарное измѣненіе давленія возможно только при сжатіи воздуха въ закрытомъ со всѣхъ сторонъ сосудѣ, въ которомъ стѣнки служатъ границами области сгущенія.

Въ виду того, что явленія въ вакуумѣ, какъ это мы видѣли выше, подчиняются законамъ, которые вполнѣ аналогичны законамъ механики осязаемыхъ средъ, слѣдуетъ предвидѣть, что и въ вакуумѣ отъ центра нарушенія равновѣсія могутъ распространяться волны. Если, напримѣръ, внезапнымъ толчкомъ сдвинуть немного заряженное тѣло, то его поле перемѣстится съ нимъ въ пространствѣ не мгновенно: вѣдь прежде, чѣмъ электрическое поле можетъ установиться, должно появиться магнитное. Это послѣднее сперва возникаетъ только непосредственно вокругъ тѣла; именно здѣсь, благодаря внезапному движенію тѣла, искажается электрическое поле; равновѣсіе его напряженій, поэтому, нарушается, а это, въ свою очередь, вызываетъ магнитное поле, силовыя линіи котораго въ видѣ окружностей охватываютъ тѣло. Это магнитное поле направлено такимъ образомъ, чтобы снова привести въ равновѣсіе электрическія напряженія въ мѣстахъ, непосредственно прилегающихъ къ тѣлу. Но теперь получается слѣдующее: съ одной стороны, магнитное поле не можетъ просто исчезнуть, разъ оно уже возникло, а съ другой стороны, вслѣдствіе того, что электрическія напряженія въ окрестности тѣла, по возобновленію равновѣсія, передвинулись, вдали же еще не успѣли передвинуться, возникаетъ шарообразный слой, гдѣ поле искажено, т.-е. выведено изъ равновѣсія. Въ этотъ слой проникаетъ въ то же время магнитное поле, возникшее при движеніи, и начинаетъ тотчасъ возобновлять здѣсь равновѣсіе электрическихъ напряженій. Шаровая оболочка, въ которой электрическое поле выведено изъ равновѣсія, и въ которой эфиръ въ то

же время принялъ магнитное состоянiе, такимъ образомъ распространяется радiально по всѣмъ направленiямъ. Это распространенiе состоитъ въ томъ, что область, окруженная нашей оболочкой, гдѣ электрическое поле уже приспособилось къ новому положенiю заряженнаго тѣла, соотвѣтственно увеличивается. Для скорости, съ которой радiально распространяется въ вакуумѣ электромагнитное возмущенiе въ формѣ шарообразной оболочки, получается, на основанiи достовѣрно извѣстныхъ законовъ физики эфира, колоссальное значенiе 300,000,000 m/sec. Это значенiе было найдено уже Максвелломъ.

Если мы сообщимъ заряженному тѣлу не одинъ только толчокъ, но заставимъ его перiодически колебаться, то мы должны ожидать, что въ вакуумѣ получится не одна волна, но цѣлая система ихъ. Конечно, для того, чтобы получить возможность наблюдать явленiе, слѣдовало бы, въ виду колоссальной скорости распространенiя волнъ, перiодъ колебанiя сдѣлать крайне малымъ, такъ, чтобы въ секунду совершалось, по крайней мѣрѣ, нѣсколько миллiоновъ колебанiй. Извѣстно, что *Генриху Гертцу* дѣйствительно удалось произвести подобные опыты. Онъ заставлялъ проходить взадъ и впередъ, въ металлическомъ стержнѣ, въ *вибраторѣ*, электрическiе заряды въ формѣ быстро перемѣннаго тока, и оказалось, что изъ вибратора дѣйствительно исходятъ электрическiя волны, которыя распространяются съ теоретически вычисленной скоростью. Рис. 30, который заимствованъ изъ знаменитой книги Гертца: «О распространенiи электрической силы», изображаетъ электрическое поле, окружающее вибраторъ въ опредѣленный моментъ. Оба конца вибратора, которые изображены на рис. 30 въ видѣ шариковъ, принимаютъ противоположные заряды проходящаго черезъ вибраторъ быстро-перемѣннаго тока, а именно — попеременно: то верхнiй — положительный, нижнiй — отрицательный, то верхнiй — отрицатель-

ный, нижнiй — положительный. Непосредственно вблизи вибратора, между обоими заряженными концами его поле имѣетъ приблизительно такой же видъ, какъ поле между двумя заряженными шариками, когда оно находится въ равновѣсiи. Но на большемъ разстоянiи поле сильно отличается отъ поля въ этомъ простомъ случаѣ. Въ самомъ дѣлѣ, такъ какъ промежутокъ времени, въ теченiе котораго концы вибратора перезаряжаются, чрезвычайно малъ, то поле на нѣкоторомъ раз-

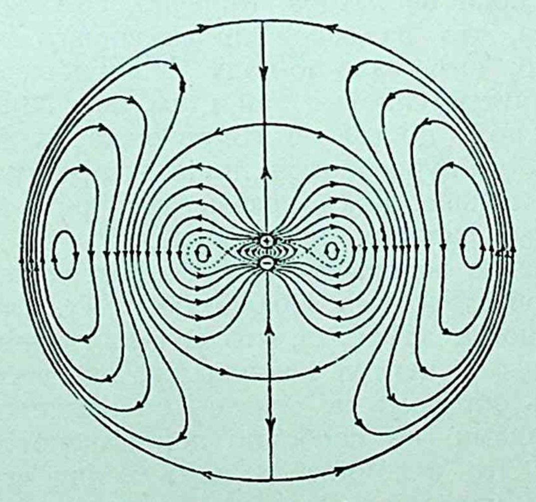


Рис. 30. Электрическiя волны.

стоянiи за это время не успѣваетъ вполнѣ установиться. Силовыя линiи сперва больше концентрируются вблизи шариковъ и только позднѣе распространяются по сторонамъ. Это происходитъ подъ влiянiемъ магнитнаго поля, которое возникаетъ вслѣдствiе нарушенiя электрическаго равновѣсiя и обусловливаетъ дальнѣйшее распространенiе электрическихъ силовыхъ линiй. Въ то время, какъ это распространенiе поля уже началось, концы вибратора получаютъ максимальный зарядъ и, такъ какъ токъ перемѣняетъ направленiе, начинаютъ разряжаться. Поле въ непосредственной близости на-

чинаетъ уменьшаться, чтобы, пройдя черезъ нуль, снова потомъ возрасти. Какъ разъ этотъ моментъ и фиксированъ на рис. 30.

Что же происходитъ съ силовыми линіями, которыя, подъ вліяніемъ связаннаго съ ними магнитнаго поля, стремятся распространиться все дальше и дальше, что съ ними происходитъ, когда силовыя линіи вблизи вибратора, вслѣдствіе исчезновенія зарядовъ, мало-по-малу уничтожаются? Отвѣтъ на это таковъ: онѣ отдѣляются отъ поля вибратора. Конечно, силовыя линіи не отрываются, что на основаніи сказаннаго на стр. 152 невозможно, онѣ мало-по-малу отшнуровываются, образуя замкнутыя силовыя линіи (см. рис. 30). Такъ какъ магнитное поле постоянно сопровождаетъ ихъ, то совокупность отшнурованныхъ линій распространяется все дальше и дальше. Какъ показываетъ рис. 30, всѣ отшнурованныя силовыя линіи образуютъ, въ концѣ-концовъ, шаровую волну, которая распространяется съ вышеуказанной скоростью 300,000,000 m/sec. Слѣдовательно, особенность здѣсь та, что силовыя линіи, которыя отдѣлились отъ центра возмущенія, отъ вибратора, ни малѣйшимъ образомъ не связаны больше съ электрическими зарядами, но свободно перемѣщаются въ пространствѣ. Это напоминаетъ намъ волну сгущенія въ воздухѣ, въ которой имѣются разности давленія, но область измѣненнаго давленія не ограничена стѣнками сосуда; такъ и силовыя линіи электрическихъ волнъ не ограничены электрическими зарядами. На рис. 30 сразу видно, что электромагнитныя волны—суть волны *поперечныя*, ибо направленіе электрическаго поля (а также связаннаго съ нимъ магнитнаго) въ цѣломъ паралельно поверхности шара, т.-е. перпендикулярно къ направленію распространенія волнъ.

Едва ли надо упоминать, что опыты Гертца въ послѣднее время нашли практическое примѣненіе въ безпроволочной телеграфіи. Напряженія, отшнуровавшіяся отъ «антенны» станціи отправленія, свободно перемѣ-

щаясь въ пространствѣ, вызываютъ въ воспринимающемъ аппаратѣ, въ «детекторѣ» (указателѣ волнъ) тѣ дѣйствія, которыя и передаютъ телеграмму.

Теорія свѣта.

Въ высшей степени замѣчательно, что скорость электрическихъ волнъ—300,000 km./sec.—точнѣйшимъ образомъ совпадаетъ съ давно уже извѣстной скоростью свѣта. И въ остальномъ опытъ и теорія согласно показываютъ, что волны эфира, вызванныя быстроперемѣнными токами, обладаютъ всѣми тѣми свойствами, какими должны были бы обладать свѣтовые лучи очень большой длины волны. Такимъ образомъ, глазъ отзывается на достаточно быстрыя электромагнитныя колебанія (ибо, на основаніи только-что сказаннаго, ничѣмъ инымъ свѣтъ и не можетъ быть), подобно тому, какъ ухо—на достаточно быстрыя механическія колебанія. Глазъ есть, такъ сказать, органъ чувствъ для электромагнитныхъ процессовъ въ эфирѣ.

Не подлежитъ никакому сомнѣнію, что Максвелловская теорія не только внесла ясность въ электромагнитные процессы, но и повела къ раскрытію бывшихъ прежде чрезвычайно загадочными состояній эфира, правильное періодическое измѣненіе которыхъ проявляется, какъ излученіе свѣта. Мы говорили въ предыдущей главѣ (стр. 127) объ этой проблемѣ старой оптики. Теперь она разрѣшена. Процессы въ эфирѣ, надъ которыми долгое время тщетно задумывались, суть процессы электромагнитные, свойства которыхъ послѣ экспериментальныхъ изслѣдованій *Фарадея* и ихъ объясненія *Максвелломъ* стали извѣстны намъ во всѣхъ ихъ особенностяхъ. Оптика теперь есть лишь большая глава ученія объ электричествѣ, которая занимается чрезвычайно быстрыми колебаніями (въ нѣсколько сотъ билліоновъ перемѣнъ въ секунду).

6. Связь осязаемой матеріи съ эфиромъ.

Всѣ тѣла, нагрѣтыя до высокой температуры, испускаютъ свѣтъ. Ихъ молекулы испытываютъ при нагрѣваніи такія сильныя сотрясенія, что приходятъ въ колебанія, и эти колебанія вызываютъ электромагнитныя волны въ эфирѣ. Такимъ образомъ ясно, что молекулы и атомы всѣ безъ исключенія находятся въ физическомъ взаимоотношеніи съ эфиромъ, что они, другими словами, заряжены электричествомъ.

Какъ ни трудно провести это представленіе, вытекающее изъ Максвелловской теоріи, во всѣхъ частностяхъ, тѣмъ не менѣе всякому успѣху въ нашихъ знаніяхъ, находящему себѣ объясненіе въ ней, слѣдуетъ придавать большое значеніе. Въ то время, когда придерживались механическаго представленія и разсматривали свѣтъ, какъ *волнообразное движеніе* эфира, впадали въ очевидное противорѣчіе: было совершенно непонятно, какимъ образомъ матеріальныя частицы, для которыхъ эфиръ совершенно проницаемъ, могутъ приводить его въ движеніе. Но это затрудненіе Максвелловской теоріей сразу устраняется, такъ какъ эта теорія предполагаетъ, что связь между матеріей и эфиромъ не механическая, но электрическая.

Электролизъ.

Первыя открытія относительно заряженныхъ атомовъ были сдѣланы у жидкихъ проводниковъ, т.-е. у водныхъ растворовъ солей, кислотъ или основаній. Если пропустить черезъ одинъ изъ такихъ растворовъ электрическій токъ, то оказывается, что около погруженныхъ въ этотъ растворъ металлическихъ пластинокъ, черезъ которыя проводится токъ, около *электродовъ*, наступаютъ химическія разложенія. Поэтому подобные растворы называютъ *электролитами*. Чтобы выяснить какъ

слѣдуетъ характеръ химическихъ превращеній, происходящихъ тутъ, я буду держаться одного опредѣленнаго примѣра, а именно: я выберу для этой цѣли растворъ сѣрнокислаго калія (K_2SO_4). Въ этомъ случаѣ при прохожденіи тока прежде всего бросается въ глаза образованіе газовъ на электродахъ, при чемъ на положительномъ электродѣ—на *анодѣ*—появляется кислородъ, на отрицательномъ—на *катодѣ*—водородъ. *Фарадей* впервые произвелъ количественныя изслѣдованія освобождающихся продуктовъ разложенія и нашелъ слѣдующій важный законъ: *количество продуктовъ разложенія, выдѣлившихся на одномъ изъ электродовъ въ опредѣленномъ электролитѣ, всегда строго пропорціонально величинѣ электрическаго заряда, перенесеннаго за все время токомъ.*

Этотъ законъ справедливъ для всѣхъ электролитовъ, безъ всякаго исключенія. Сами продукты разложенія могутъ быть чрезвычайно разнообразны. Въ растворахъ солей тяжелыхъ металловъ на катодѣ, въ большинствѣ случаевъ, выдѣляется не водородъ, но самъ металлъ, напр., мѣдь, цинкъ, серебро и т. д. Извѣстно, что въ техникѣ это выдѣленіе металловъ часто используется либо для полученія металлическихъ оттисковъ съ опредѣленной формы (сдѣланной изъ проводящаго матеріала), либо для покрытія металлическихъ предметовъ слоемъ иного металла (напр., никкеля). Опредѣленное количество электричества, при прохожденіи черезъ всякій растворъ, осаждаетъ также вполнѣ опредѣленное, пропорціональное своей величинѣ, количество соотвѣтствующаго металла. При сравненіи количествъ вещества, выдѣленныхъ на катодѣ однимъ и тѣмъ же количествомъ электричества изъ различныхъ растворовъ, оказывается—это впервые было открыто также *Фарадеемъ*—оказывается, что *изъ всевозможныхъ растворовъ выдѣляются въ точности одинаковыя количества вещества, если только ихъ разсчитывать не въ граммахъ, а въ граммъ-эквивалентахъ*. Подъ граммъ-экви-

валентомъ мы разумѣемъ граммъ-атомъ, раздѣленный на химическую валентность соотвѣтствующаго вещества (ср. стр. 116). Такъ, напримѣръ, атомные вѣса нѣкоторыхъ элементовъ имѣютъ слѣдующія значенія: водородъ $H = 1{,}008$, серебро $Ag = 107{,}88$, мѣдь $Cu = 63{,}57$, цинкъ $Zn = 65{,}37$, золото $Au = 197{,}2$. Изъ этихъ веществъ первыя два одновалентны, слѣдующія два—двувалентны и послѣднее—трехвалентно. Поэтому 1,008 граммъ водорода (1 H), 107,88 граммъ серебра (1 Ag), 31,785 граммъ мѣди ($^1/_2$ Cu), 32,685 граммъ цинка ($^1/_2$ Zn) и 65,73 граммъ золота ($^1/_3$ Au)—суть химическіе эквиваленты соотвѣтствующихъ веществъ.

Международнымъ соглашеніемъ была установлена единица заряда, которую слѣдуетъ класть въ основу всѣхъ измѣреній. А именно: за единицу количества электричества было принято такое количество, которое осаждаетъ изъ раствора соли серебра 1,118 mg. чистаго металла. Эта единица получила названіе 1 *кулона*. Если мы разсчитаемъ количество серебра въ граммъ-эквивалентахъ, то мы придемъ къ результату, что 1 кулонъ осаждаетъ $0{,}001118 : 107{,}88 = 0{,}000010363$ граммъ-эквивалента серебра. Поэтому, чтобы получить граммъ-эквивалентъ серебра, слѣдуетъ пропустить черезъ растворъ *96,500 кулоновъ*. По закону Фарадея этотъ зарядъ выдѣлитъ на катодѣ изъ всякаго иного раствора соли, черезъ который онъ проходитъ, также 1 граммъ-эквивалентъ металла или водорода. Его называютъ, поэтому, *зарядомъ одного эквивалента*.

Совершенно то же справедливо для вещества, выдѣлившагося на анодѣ. Если это вещество есть кислородъ ($O = 16$), то 96,500 кулоновъ доставляютъ всегда 8 граммъ кислорода ($= {}^1/_2$ O, такъ какъ кислородъ двувалентенъ). Изъ соединеній хлора на анодѣ выдѣляется самъ хлоръ, при чемъ 96,500 кулоновъ освобождаютъ 1 граммъ-атомъ $Cl = 35{,}46$, такъ какъ хлоръ химически одновалентенъ. Если анодъ состоитъ изъ легко окисляющагося металла, то обычно на немъ не происходитъ от-

дѣленія веществъ, но вмѣсто этого образуется соотвѣтствующая окись или соль, при чемъ часть металла, изъ котораго состоитъ анодъ, въ этомъ случаѣ переходитъ въ растворъ. Именно: 96,500 кулоновъ вызываютъ окисленіе или раствореніе какъ разъ одного граммъ-эквивалента металла.

Однако этими химическими разложеніями и раствореніями у самихъ электродовъ весь химическій процессъ еще не исчерпывается. Возлѣ электродовъ измѣняется и проводящій растворъ соли. Либо измѣняется только его концентрація, такъ что онъ становится съ одной стороны, слабѣй, съ другой стороны—крѣпче, либо, кромѣ того, къ растворенной соли присоединяются другія вещества. Возьмемъ, напримѣръ, растворъ сѣрнокислаго калія. Если прибавить къ этому раствору немного лакмусовой тинктуры фіолетоваго цвѣта, то можно замѣтить, что при прохожденіи тока растворъ мѣняетъ свою окраску: вблизи анода онъ становится кроваво-краснымъ, вблизи катода — синевато-фіолетовымъ. Это измѣненіе окраски лакмусовой тинктуры есть очень хорошо извѣстная реакція: красный цвѣтъ указываетъ на присутствіе кислоты, синій—щелочи. Кислота, образовавшаяся при электролизѣ сѣрнокислаго калія на катодѣ, есть сѣрная кислота (H_2SO_4); щелочь, появившаяся на анодѣ,—ѣдкій калій (KOH). Тщательный анализъ раствора вблизи электродовъ послѣ прохожденія 96,500 кулоновъ, даетъ слѣдующій результатъ: (см. табл. на стр. 186).

Іоны.

Изъ таблицы можно видѣть, что химическій процессъ при электролизѣ K_2SO_4, въ существенныхъ чертахъ, состоитъ въ слѣдующемъ: на катодѣ исчезаетъ извѣстное количество SO_4, но появляется нѣкоторое количество K; въ то же время на анодѣ появляется соотвѣтствующее количество SO_4, но исчезаетъ K. А такъ какъ въ дѣйствительности никакое вещество не можетъ ни

Въ растворѣ K_2SO_4 послѣ прохожденія 96,500 кулоновъ

На.	анодѣ	катодѣ
выдѣлилось	$\frac{1}{2}$ O	1·H
образовалось вновь	$\frac{1}{2}$ H_2SO_4	1·KOH
содержаніе соли измѣнилось на	— 0,3 K_2SO_4	— 0,2 K_2SO_4
количество K измѣнилось на	— 0,6 эквивалента	+ 0,6 эквивалента
количество SO_4 измѣнилось на	+ 0,4 эквивалента	— 0,4 эквивалента
воды раздѣлилилось на H_2 и O	$\frac{1}{2}$ H_2O	$\frac{1}{2}$ H_2O

исчезать, ни возникать вновь, то, значитъ, въ электролитѣ, черезъ который проходитъ токъ, существуютъ потоки матеріальныхъ частицъ. Въ растворѣ сѣрнокислаго калія K передвигается по направленію отъ анода къ катоду, и вслѣдствіе этого вблизи перваго растворъ бѣднѣетъ K, вблизи второго—обогащается имъ. Но такъ какъ растворъ весь заполненъ частицами K, то отдѣльнымъ частицамъ надо лишь немного передвинуться, чтобы уже возникли рѣзкія измѣненія концентраціи раствора у электродовъ. Одновременно съ K, но въ обратномъ направленіи, передвигается SO_4.

Частицы, двигающіяся въ растворѣ, называются *іонами*. Но такъ какъ источникъ электричества, которымъ пользуются для возбужденія тока, согласно изложенному на стр. 155, просто поддерживаетъ въ проводникѣ посто-

янное поле, идущее въ направленіи отъ анода къ катоду, и такъ какъ это поле приводитъ въ движеніе іоны, то мы можемъ заключить, что эти послѣдніе являются заряженными частицами. А именно: зарядъ частицъ, идущихъ отъ анода къ катоду,—частицъ, которыя называютъ *катіонами*,—долженъ быть положительнымъ, частицъ же, идущихъ въ противоположномъ направленіи, *аніоновъ*,—отрицательнымъ. Въ растворѣ сѣрнокислаго калія частицы вещества K—катіоны, и заряжены, слѣдовательно, положительно, частицы SO_4, аніоны,—отрицательно. Такъ какъ оба вида частицъ подъ вліяніемъ поля свободно двигаются относительно другъ друга, то отсюда неизбѣжно слѣдуетъ, что онѣ совершенно отдѣлены другъ отъ друга. Слѣдовательно, онѣ не скрѣплены, какъ думали раньше, въ молекулы K_2SO_4, или скрѣплено только незначительное меньшинство ихъ; большинство частицъ K и SO_4 свободно плаваетъ, или, какъ говорятъ, *диссоціировано* въ водѣ. Этотъ выводъ изъ явленія электролиза, сдѣланный впервые *Арреніусомъ*, впослѣдствіи былъ превосходно подтвержденъ и другими фактами изъ области физики и химіи. Вода, повидимому, обладаетъ совершенно особенной способностью расщеплять растворенныя молекулы на положительно и отрицательно заряженныя частицы. Вслѣдствіе этого именно водные растворы являются особенно хорошо проводящими. Мы можемъ, такимъ образомъ, сказать, что *водный растворъ потому и является проводникомъ, что онъ содержитъ громадное число отдѣленныхъ другъ отъ друга и подвижныхъ частицъ, изъ которыхъ однѣ заряжены положительно, другія—отрицательно*. Вслѣдствіе того, что эти частицы, іоны, поддаются дѣйствію электрическаго поля, происходитъ разрушеніе поля, о которомъ мы говорили на стр. 145 и 155.

Такъ какъ водный растворъ, если ему не сообщить какимъ-нибудь особымъ способомъ зарядъ, является нейтральнымъ, то заряды положительныхъ и отрицатель-

ныхъ іоновъ, находящихся въ немъ, должны взаимно уничтожаться. Но въ растворѣ на 1 граммъ-эквивалентъ положительныхъ іоновъ приходится всегда какъ разъ 1 граммъ-эквивалентъ отрицательныхъ. Въ растворѣ сѣрнокислаго калія, напримѣръ, на 1 K приходится всегда $^1/_2SO_4$, такъ какъ оба вещества соединяются въ K_2SO_4. Слѣдовательно, весь зарядъ 1 граммъ-эквивалента положительныхъ іоновъ долженъ быть въ точности равенъ заряду 1 граммъ-эквивалента отрицательныхъ іоновъ. Но изъ законовъ электролиза можно вычислить и самую величину этого полнаго заряда. Какъ видно изъ таблицы на стр. 186, выдѣленіе вещества на электродѣ, напр., водорода на катодѣ, происходитъ оттого, что вещество освобождается какъ вслѣдствіе подведенія одного вида іоновъ (K), такъ и вслѣдствіе удаленія другого вида іоновъ (SO_4). Въ растворѣ сѣрнокислаго калія на катодѣ осадилось бы нѣкоторое количество K, частью принесенное катіонами, частью освободившееся вслѣдствіе ухода группы SO_4, если бы оно, заимствуя у воды OH и освобождая при этомъ эквивалентное количество H, не образовало KOH. Для того, чтобы получился 1 граммъ-эквивалентъ какого-либо продукта разложенія, сумма вещества, принесеннаго іонами одного рода, и унесеннаго іонами другого рода, должно составлять какъ разъ одинъ граммъ-эквивалентъ. Такъ, напримѣръ, въ растворъ сѣрнокислаго калія на катодѣ осаждается 1 H, когда приносится 0,6 K, и уносится $0{,}4 \cdot {}^1/_2SO_4$; дѣйствительно $0{,}6 + 0{,}4 = 1$. Но, такъ какъ въ то же время разряжается 96500 кулоновъ, то іоны калія должны принести на катодъ $0{,}6 \cdot 96500$ кулоновъ положительнаго электричества, а SO_4-іоны — унести $0{,}4 \cdot 96500$ кулоновъ отрицательнаго электричества. Мы видимъ отсюда, что *зарядъ эквивалента, 96500 кулоновъ, есть полный зарядъ, которымъ обладаютъ іоны, заключенные въ 1 граммъ-эквивалентѣ.*

Изъ этого можно вывести заключеніе, имѣющее весьма большое значеніе. Заключеніе это впервые было сдѣ-

лано *Гельмгольтцемъ*. Въ граммъ-эквивалентѣ одновалентныхъ іоновъ, согласно сказанному на стр. 118, заключается всегда одно и то же число частицъ ν. Всѣ одновалентные іоны имѣютъ, поэтому, одинъ и тотъ же зарядъ, именно: $96500/\nu = \varepsilon$ кулоновъ. Число частицъ въ 1 граммъ-эквивалентѣ двувалентныхъ іоновъ есть $\nu/2$. Зарядъ каждаго изъ нихъ, слѣдовательно, равняется $2\ \varepsilon$ кулоновъ. Точно такъ же, зарядъ трехвалентнаго іона есть $3\ \varepsilon$, четырехвалентнаго—$4\ \varepsilon$, и т. д.

Въ электролитахъ встрѣчаются только такіе заряды, которые суть цѣлыя кратныя нѣкоторой, вполнѣ опредѣленной величины ε; *эту величину называютъ элементарнымъ электрическимъ зарядомъ.*

Итакъ, въ электролитахъ зарядъ имѣетъ атомистическое строеніе. Мельчайшій, недѣлимый далѣе зарядъ ε, который мы теперь называемъ элементарнымъ, Гельмгольтцемъ былъ прямо названъ атомомъ электричества.

Электропроводность газовъ.

Газы, примѣромъ которыхъ можетъ служить намъ атмосферный воздухъ, вообще—превосходные изоляторы. Однако, существуютъ различныя средства, позволяющія дѣлать ихъ проводниками. Къ числу этихъ средствъ принадлежатъ химическіе процессы при горѣніи. Газъ, поднимающійся изъ пламени, всегда есть проводникъ электричества, какъ это было извѣстно уже больше ста лѣтъ тому назадъ. Второе средство есть соприкосновеніе газа съ накаленнымъ тѣломъ. Газъ при этомъ пріобрѣтаетъ особенно большую электропроводность, когда тѣло накалено до-бѣла. Третье средство даютъ извѣстные виды лучей: рентгеновскіе лучи и лучи такъ наз. радіоактивныхъ тѣлъ. Проходя черезъ газъ, они дѣлаютъ его проводникомъ. Электропроводность, которую пріобрѣтаетъ газъ подобнымъ образомъ, конечно, очень слаба; она приблизительно равняется электропроводности дерева или бумаги. Если газъ, сдѣланный проводни-

комъ, по устраненіи причинъ, вызывающихъ электропроводность, на нѣсколько минутъ предоставить самому себѣ, то онъ снова становится изоляторомъ.

Одинъ изъ важнѣйшихъ фактовъ, наблюденныхъ у проводящихъ газовъ, состоитъ въ томъ, что такіе газы мгновенно теряютъ свою электропроводность, если ихъ внести въ достаточно сильное электрическое поле. Этотъ фактъ допускаетъ только одно объясненіе, именно, что электропроводность газа обусловлена присутствіемъ примѣшанныхъ къ нему частицъ, которыя устраняются полемъ. Такъ какъ поле приводитъ частицы въ движеніе, то онѣ должны быть заряжены электричествомъ. Если, напримѣръ, помѣстить газъ въ пространство между двумя противоположно заряженными металлическими пластинками, то электрическое поле гонитъ положительно заряженныя частицы къ отрицательной пластинкѣ, гдѣ онѣ осѣдаютъ; отрицательно заряженныя частицы удаляются на противоположную сторону. Мы видимъ, такимъ образомъ, что газъ, такъ же какъ электролитъ, обязанъ своей электропроводностью подвижнымъ іонамъ; онъ, какъ говорятъ, *іонизированъ*. Когда іонизирующее дѣйствіе прекращается, то газъ, мало-по-малу, теряетъ свои іоны, потому что всякія двѣ частицы, изъ которыхъ одна заряжена положительно, а другая отрицательно, очутившись слишкомъ близко другъ къ другу, притягиваются и соединяются въ нейтральную молекулу. Такъ объясняется самопроизвольная потеря электропроводности. Въ электролитахъ дѣло обстоитъ иначе, потому что въ нихъ диссоціирующая сила воды всегда въ широкихъ размѣрахъ возмѣщаетъ іоны, устраненные взаимнымъ соединеніемъ; въ электролитахъ іонизирующая причина не исчезаетъ никогда.

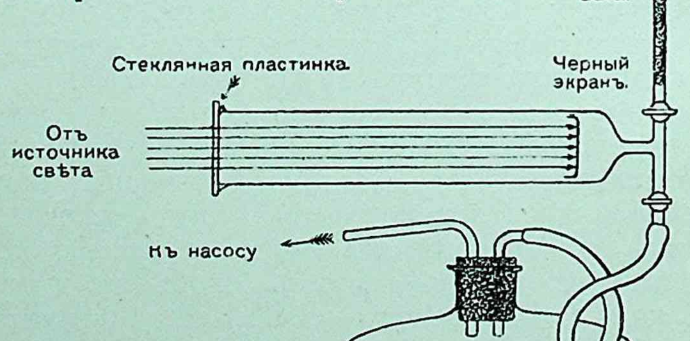
Большинство изслѣдованій относительно искусственно іонизированныхъ газовъ и ихъ іоновъ, было произведено англійскимъ ученымъ *Дж. Дж. Томсономъ* и его учениками. Изъ обширнаго матеріала, который теперь находится въ нашемъ распоряженіи, я возьму

лишь одинъ фактъ, который мнѣ представляется особенно важнымъ. Іоны примѣшаны къ газу, какъ молекулы какого-либо иного газа; мы можемъ прямо говорить о газѣ іоновъ, или, лучше, о двухъ одновременно существующихъ газахъ іоновъ. Эти «газы іоновъ» диффундирують въ іонизированный газъ по тѣмъ же законамъ, какъ какіе-либо иные газы (ср. стр. 53), и можно измѣрить ихъ скорость диффузіи. Мы знаемъ, что когда концентраціи различныхъ газовъ выражены въ граммъ-молекулахъ, то они, въ большинствѣ случаевъ, проявляютъ одинаковыя свойства: стоитъ вспомнить, напримѣръ, законъ Авогадро (стр. 52 и 117). Скорость диффузіи даетъ намъ возможность вычислить, какое треніе, въ цѣломъ, испытываютъ всѣ частицы опредѣленнаго количества газа, находящагося въ состояніи очень сильнаго разрѣженія, когда онъ диффундируетъ сквозь сгущенный газъ, при условіи, что это количество газа разсчитано въ граммъ-молекулахъ. Съ другой стороны, скорость, съ которой іоны двигаются въ электрическомъ полѣ, зависитъ отъ отношенія ихъ заряда къ тренію, которое они испытываютъ. Но скорость іоновъ въ электрическомъ полѣ можно смѣрить въ cm./sec., и, значитъ, вычислить упомянутое отношеніе. А такъ какъ все треніе, которое испытываютъ частицы, находящіяся въ граммъ-молекулѣ, извѣстно, то отсюда получается полный зарядъ, приходящійся на граммъ-молекулу іоновъ. Оказалось, что онъ почти равенъ заряду одного эквивалента въ электролитѣ. Само собой разумѣется, что найденное число не точно, такъ какъ довольно большія ошибки въ измѣреніяхъ неизбѣжны. Но во всякомъ случаѣ, оно лишь немного больше 96500 кулоновъ. Можно съ достаточнымъ основаніемъ принять, что приблизительное совпаденіе съ числомъ, извѣстнымъ для электролитовъ, не случайно; а изъ этого вытекаетъ слѣдствіе, что *зарядъ іона проводящаго газа вообще равенъ заряду химически одновалентнаго электролитическаго іона, т.-е. элементарному заряду*. Весьма вѣроятно, что къ

«одновалентнымъ» газіонамъ примѣшано также нѣкоторое количество «дву- и многовалентныхъ» іоновъ; этимъ объясняется нѣсколько большее значеніе, которое найдено для заряда граммъ-молекулы газіоновъ.

Осѣданіе тумана на іонахъ.

Одно изъ интересныхъ свойствъ газіоновъ состоитъ въ томъ, что они легко могутъ служить ядрышками для образованія капелекъ тумана. Образованіе тумана изъ водяного пара можно наблюдать при помощи аппарата, изобра-



женнаго на рис. 31. Герметически закрытый сосудъ, черезъ который въ продольномъ направленіи пропускаютъ свѣтъ электрической лампы, сзади переходитъ въ Т-образную трубку. Обѣ вѣтви этой трубки можно запирать кранами. Одна изъ трубокъ открывается въ воздухъ; значитъ, если открыть кранъ, то давленіе воздуха въ цилиндрѣ сравняется съ давленіемъ атмосфернаго воз-

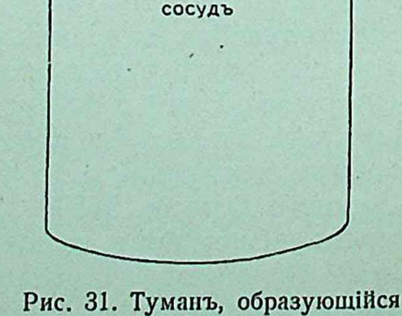


Рис. 31. Туманъ, образующійся на іонахъ.

духа. Другая трубка толстостѣнной каучуковой кишкой соединена съ большимъ стекляннымъ сосудомъ, въ которомъ давленіе воздуха, при помощи насоса, можетъ быть уменьшено на опредѣленную величину. Если открыть кранъ трубки, ведущей къ большому сосуду, въ то время, какъ кранъ другой трубки закрытъ, то въ цилиндрѣ воздухъ внезапно расширяется, а это сопровождается пониженіемъ температуры. Если теперь до начала опыта налить въ цилиндръ столько воды, чтобы она совершенно покрывала дно, то воздухъ будетъ смѣшанъ съ насыщеннымъ паромъ. Тогда, при расширеніи, вслѣдствіе охлажденія, образуется туманъ, который въ пучкѣ лучей, пронизывающихъ цилиндръ, виденъ весьма ясно.

Прежде всего можно констатировать, что при не очень сильномъ расширеніи туманъ образуется только тогда, когда для капелекъ воды имѣются извѣстныя ядра сгущенія. Для этого служатъ часто пылинки, которыя примѣшаны къ воздуху. Чтобы по возможности «отфильтровать» пылинки, трубка, по которой подводится воздухъ, какъ показываетъ рис. 31, наполнена ватой, и эта вата задерживаетъ пылинки протягиваемаго воздуха. Если первоначально онѣ все же были въ цилиндрѣ, то ихъ можно скоро удалить, вызывая нѣсколько разъ образованіе тумана. Въ самомъ дѣлѣ, подъ вліяніемъ силы тяжести капельки тумана падаютъ на дно, а съ ними вмѣстѣ падаютъ и пылинки. Черезъ трубку, наполненную ватой, всегда пополняется воздухъ, вышедшій при расширеніи. Въ концѣ-концовъ, при повтореніи опыта воздухъ остается прозрачнымъ; слѣдовательно, туманъ не можетъ возникать, если не существуетъ частицъ, на которыхъ могъ бы осѣдать конденсирующійся паръ въ формѣ маленькихъ капелекъ. Если іонизировать воздухъ, напримѣръ, пропуская черезъ цилиндръ рентгеновскіе лучи, и затѣмъ снова заставить его расшириться, то въ воздухѣ, который при прежнихъ опытахъ оставался совершенно прозрачнымъ, образуется густой туманъ.

Образованіе тумана вызвано теперь іонами, всякая капелька тумана есть какъ бы іонъ, выросшій до видимой величины.

Образованіе капелекъ воды на электрически заряженныхъ частицахъ имѣетъ большой интересъ для объясненія многихъ метеорологическихъ явленій. Стоитъ вспомнить заряженныя облака при грозахъ. Атмосферный воздухъ всегда нѣсколько іонизированъ, и весьма вѣроятно, что его іоны образуютъ ядрышки электрически-заряженныхъ облаковъ и тумановъ.

Измѣреніе элементарнаго заряда.

Дж. Дж. Томсону пришла мысль считать капельки тумана, т.-е. іоны, находящіеся въ проводящемъ воздухѣ. Такъ какъ полный зарядъ іоновъ можно опредѣлить, осаждая ихъ на двухъ противоположно заряженныхъ металлическихъ пластинкахъ, и измѣряя при этомъ какъ великъ нейтрализованный зарядъ, то можно вычислить и зарядъ отдѣльнаго іона. Для этого надо просто раздѣлить найденную величину полнаго заряда на число частицъ. Различныя измѣренія, которыя предпринялъ *Томсонъ*, привели довольно согласно къ одному значенію для элементарнаго заряда: $\varepsilon = 1{,}1 \cdot 10^{-19}$ кулоновъ.

Методъ Томсона, который я только что бѣгло описалъ, былъ существенно улучшенъ *Г. А. Вильсономъ*. Вильсонъ опредѣлялъ, во-первыхъ, величину, а вмѣстѣ съ тѣмъ и вѣсъ капелекъ тумана, наблюдая скорость ихъ паденія; большія капли падаютъ быстрѣе, чѣмъ маленькія, и существуетъ математическая формула, многократно провѣренная экспериментально, которая позволяетъ вычислить величину капельки по скорости ея паденія. Во-вторыхъ, Вильсонъ наблюдалъ какъ измѣняется скорость частицы при паденіи въ электрическомъ полѣ, силовыя линіи котораго идутъ вертикально. Отсюда можно вычислить отношеніе силы электрическаго поля (напряженія) къ силѣ тяжести, и, далѣе, такъ какъ вѣсъ извѣ-

стенъ, самую силу, съ которой электрическое поле дѣйствуетъ на частицу. Эта послѣдняя пропорціональна силѣ поля (напряженію) и заряду частицы. Слѣдовательно, надо измѣрить еще только силу приложеннаго поля (напряженіе его)—это сдѣлать весьма легко,—чтобы непосредственно опредѣлить зарядъ частицы. По этому методу съ тѣхъ поръ измѣренія произведены были многими изслѣдователями, и особенно тщательно—*Милликаномъ*. По Милликану преобладающая часть капелекъ тумана имѣетъ зарядъ, приблизительно, $1{,}52 \cdot 10^{-19}$. Это число, навѣрное, гораздо точнѣй приведеннаго выше числа Томсона. Но *Милликанъ* пошелъ еще дальше. Онъ могъ, примѣняя слабыя увеличенія, наблюдать отдѣльныя капельки тумана и, такимъ образомъ, опредѣлять зарядъ самихъ этихъ капелекъ. Для этого онъ отыскивалъ капли, которыя подъ вліяніемъ поля, дѣйствующаго вверхъ, оставались въ покоѣ. Подобныя капельки можно въ теченіе продолжительнаго времени не упускать изъ виду, чтобы измѣрить ихъ зарядъ. Конечно, для преобладающаго большинства капелекъ электрическая сила слишкомъ мала по сравненію съ силой тяжести, и методъ, поэтому, примѣнимъ лишь къ спорадически появляющимся каплямъ, зарядъ которыхъ больше элементарнаго. *Милликанъ* нашелъ, что встрѣчаются слѣдующіе заряды капелекъ: $3{,}09 \cdot 10^{-19}$; $4{,}50 \cdot 10^{-19}$; $6{,}08 \cdot 10^{-19}$; $8{,}05 : 10^{-19}$; $9{,}39 \cdot 10^{-19}$. Эти числа суть почти цѣлыя кратныя одного и того же $\varepsilon = 1{,}55 \cdot 10^{-19}$. При позднѣйшихъ чрезвычайно тщательныхъ изслѣдованіяхъ Милликанъ нашелъ, что этотъ фактъ прекрасно подтверждается. По устраненіи нѣкоторыхъ ошибокъ, которыхъ онъ прежде не могъ еще избѣжать вполнѣ, Милликанъ получилъ въ результатѣ своихъ послѣднихъ измѣреній $\varepsilon = 1{,}63 \cdot 10^{-19}$ кулоновъ. Изъ этихъ изслѣдованій вытекаетъ самымъ опредѣленнымъ образомъ, что *и у газіоновъ встрѣчаются лишь такіе заряды, которые суть цѣлыя кратныя недѣлимаго далѣе элементарнаго заряда. Элементарный зарядъ составляетъ $1{,}63 \cdot 10^{-19}$ кулоновъ.*

Но такъ какъ полный зарядъ граммъ-эквивалента іоновъ составляетъ 96500 кулоновъ, то число отдѣльныхъ атомовъ, находящихся въ граммъ-атомѣ, есть $\nu = 96500 : 1{,}63 \cdot 10^{-19} = 0{,}592 \cdot 10^{-24}$. А отсюда получается на основаніи сказаннаго на стр. 00, 00, *Лошмидтово число*, $N = 0{,}592 : 10^{-24} : 22330$, т.-е. $N = 26{,}5 \cdot 10^{18}$.

Разряды въ газахъ.

Газъ можетъ быть іонизированъ также извѣстными дѣйствіями сильнаго электрическаго поля, и, если затѣмъ черезъ такой газъ пройдетъ электрическій токъ, то онъ можетъ еще усилить іонизацію. Эти токи, которые сами постоянно доставляютъ новые іоны, безъ искусственной поддержки іонизаціи, называютъ *самостоятельными разрядами* или коротко *разрядами въ газѣ*. Существуютъ два принципіально различныхъ вида разрядовъ: 1) разрядъ съ холодными электродами или «*тлѣющій*» *разрядъ*; 2) разрядъ съ накаленными электродами (по крайней мѣрѣ съ накаленнымъ катодомъ), который называютъ также *дуговымъ разрядомъ*. Я зашелъ бы слишкомъ далеко, если бы сталъ описывать чрезвычайно интересные процессы при разрядахъ; однимъ такимъ описаніемъ можно было бы заполнить маленькую книжку. Однако, съ «тлѣющимъ» разрядомъ необходимо нѣсколько ближе ознакомиться, такъ какъ его изученіе привело къ новымъ, въ высшей степени неожиданнымъ заключеніямъ о природѣ матеріальныхъ атомовъ.

Наиболѣе эффектной и чистой получается картина тлѣющаго разряда, когда газъ находится при низкомъ давленіи. Стеклянный сосудъ съ впаянными электродами, который откачанъ до очень маленькаго давленія (1 mm. ртутнаго столба или еще меньше), называютъ *гейслеровой трубкой*. Рис. 32 изображаетъ разрядъ въ гейслеровой трубкѣ. На этомъ рисункѣ видно, что свѣтъ, сопровождающій разрядъ, состоитъ существенно изъ двухъ частей. Слѣва мы видимъ катодъ; онъ окру-

женъ голубоватымъ свѣтовымъ туманомъ, *отрицательнымъ сіяніемъ*, который направо постепенно переходитъ въ лишенный свѣта промежутокъ, *Фарадеево темное пространство*. Отъ Фарадеевскаго темнаго пространства до анода тянется длинная полоса свѣта, *положительная свѣтовая колонна*, которая, какъ показываетъ рис. 32, распадается на множество свѣтовыхъ колецъ съ темными промежутками между ними, на множество «слоевъ». Различными способами было экспериментально установлено, что присутствіе свѣта въ какомъ-либо мѣстѣ указываетъ на то, что тамъ происходятъ сильно іонизирующіе процессы. Въ темныхъ мѣстахъ токъ состоитъ изъ іоновъ, проникающихъ сюда изъ сосѣднихъ центровъ іонизаціи—здѣсь іоны не образуются вновь.

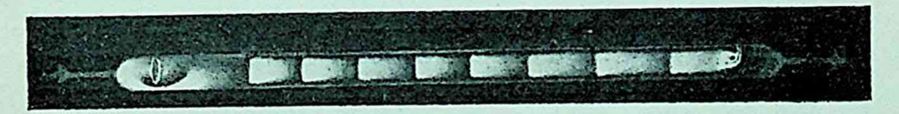


Рис. 32. Электрическій разрядъ въ гейслеровой трубкѣ.

Поэтому, чтобы понять процессъ разряда, мы должны направить свое вниманіе на свѣтящіяся части пути тока.

Оба электрода трубки, изображенной на рис. 32, можно очень легко сблизить между собой, если кромѣ электрода на правомъ концѣ трубки устроить нѣсколько добавочныхъ электродовъ на разныхъ разстояніяхъ отъ катода и приключать положительный полюсъ источника электричества по очереди къ одному изъ этихъ новыхъ электродовъ. Если сдѣлать это, то окажется, что по мѣрѣ сближенія электродовъ положительная свѣтовая колонна будетъ укорачиваться, между тѣмъ какъ свѣтовыя явленія вокругъ катода и Фарадеево темное пространство останутся неизмѣнными. Если расположить анодъ въ фарадеевомъ темномъ пространствѣ или даже въ самомъ голубоватомъ катодномъ тлѣющемъ свѣтѣ, то положительная свѣтовая колонна просто исчезнетъ совершенно,

а на катодное сіяніе тогда положеніе анода не окажетъ никакого вліянія.

Можетъ существовать такой разрядъ, который состоитъ только изъ процессовъ, проявляющихся въ отрицательномъ сіяніи; разрядъ, въ которомъ эти процессы отсутствуютъ, невозможенъ; они, такимъ образомъ, составляютъ самую сущность этой формы разряда.

Мы заключаемъ отсюда, что первичныхъ источниковъ іоновъ, которые дѣлаютъ проводникомъ газъ въ трубкѣ, слѣдуетъ искать въ процессахъ около катода. Положительная свѣтовая колонна содержитъ лишь вторичные источники іоновъ, которые присоединяются къ главному центру іонизаціи у катода, когда путь тока настолько великъ, что на весь этотъ путь не хватаетъ первичныхъ іоновъ, образовавшихся около катода. Поэтому слѣдуетъ ожидать, что положительная свѣтовая колонна не дастъ намъ ничего новаго, если только мы разберемся какъ слѣдуетъ въ процессахъ около катода. Дѣйствительно, это ожиданіе оправдано точнѣйшими изслѣдованіями и мы здѣсь займемся, поэтому, только процессами, совершающимися у катода.

Отрицательное сіяніе тѣмъ обширнѣе, чѣмъ меньше давленіе газа. Поэтому выгодно наблюдать разрядъ при низкихъ давленіяхъ. Хотя при большихъ давленіяхъ онъ ничѣмъ существеннымъ не отличается, тѣмъ не менѣе детали процесса, совершающагося около катода, можно разглядѣть только при низкихъ давленіяхъ. Когда давленіе достаточно мало, то видно, какъ это изображено и на рис. 32, что отрицательное сіяніе при этихъ условіяхъ состоитъ изъ трехъ слоевъ, изъ которыхъ каждый въ отдѣльности занимаетъ тѣмъ больше пространства, чѣмъ разрѣженнѣе газъ. Самый внутренній слой есть свѣтлая кайма, которая какъ бы окутываетъ катодъ. Она окружена темнымъ слоемъ, *катоднымъ темнымъ пространствомъ*, которое, въ честь ученаго, открывшаго его, называютъ также *Гитторфовымъ темнымъ*

пространствомъ. За нимъ слѣдуетъ голубоватый туманъ съ расплывчатыми очертаніями, составляющій самую замѣтную часть отрицательнаго сіянія. Это и есть «тлѣющій» свѣтъ. Наконецъ, отсюда до перваго свѣтящагося положительнаго слоя простирается сравнительно темный участокъ—Фарадеево темное пространство.

Такъ какъ безъ этого явленія тлѣющаго свѣта не возможенъ никакой разрядъ, и такъ какъ, съ другой стороны, оно совершается въ опредѣленномъ пространствѣ, то возникаетъ вопросъ: что произойдетъ, если мы ограничимъ пространство, занимаемое тлѣющимъ свѣтомъ? Отвѣтъ легко можно найти экспериментальнымъ путемъ, если постепенно откачивать все дальше и дальше не особенно большой сосудъ съ электродами. Оказывается, что пока въ немъ еще есть мѣсто для правильнаго образованія тлѣющаго свѣта,—разрядъ проходитъ при сравнительно низкихъ напряженіяхъ (менѣе 1000 вольтъ). Но съ того момента, какъ объемъ катоднаго сіянія увеличится настолько, что ему перестанетъ хватать мѣста, съ этого момента напряженіе быстро возрастаетъ по мѣрѣ дальнѣйшей откачки. Въ концѣ-концовъ напряженіе, которое въ воздухѣ вызываетъ искру въ дециметръ длиной, сдѣлается недостаточнымъ для разряда въ эвакуированномъ пространствѣ. Изъ этого снова видно, что самую сущность тлѣющаго разряда составляютъ процессы, совершающіеся около катода. Если имъ не хватаетъ мѣста для правильнаго образованія, то, какъ бы въ возмѣщеніе за это, они пріобрѣтаютъ большую интенсивность. Поэтому явленія разряда въ сильно эвакуированныхъ трубкахъ оказались особенно важными для изученія сущности процессовъ, совершающихся около катода при тлѣющемъ разрядѣ. По мѣрѣ дальнѣйшаго откачиванія трубки, всѣ три слоя катоднаго свѣта становятся все менѣе и менѣе рѣзкими, такъ что въ концѣ-концовъ ихъ совсѣмъ нельзя уже различить. Тогда внутри трубки видно общее туманное, сѣроватое свѣченіе, но и это послѣднее очень слабо; но зато пріобрѣтаетъ

большую силу совсѣмъ другое свѣченіе: стеклянныя стѣнки трубки излучаютъ интенсивный свѣтъ, а именно, въ зависимости отъ сорта стекла, зеленый или голубой. Это свѣченіе можно замѣтить и при болѣе высокомъ давленіи, если очень внимательно разсматривать стеклянную стѣнку трубки. Установлено, что въ томъ и другомъ случаѣ явленіе обусловлено новымъ агентомъ, который исходитъ отъ катода, и который при болѣе высокомъ давленіи вызываетъ голубой тлѣющій свѣтъ. Далѣе, простыми опытами можно доказать, что этотъ агентъ есть не что иное, какъ особый видъ лучей, которые исходятъ изъ поверхности катода. Можно наблюдать, что падая на твердое тѣло они задерживаются тѣломъ, такъ что оно отбрасываетъ тѣнь; можно измѣрить поглощеніе, которое лучи испытываютъ въ различныхъ веществахъ и т. д. Впрочемъ, лучи эти во всѣхъ отношеніяхъ отличаются отъ свѣтовыхъ: они никогда не испытываютъ, напримѣръ, преломленія, не подвергаются правильному отраженію и т. д. Зато они отклоняются въ электрическомъ и,—нѣсколько иначе,—въ магнитномъ полѣ, по простымъ, количественно-установленнымъ законамъ. Далѣе, лучи эти сообщаютъ тѣламъ, которыя ихъ поглотили, отрицательный зарядъ. Всѣ ихъ свойства могутъ быть объяснены только однимъ образомъ, именно: если принять, что они состоятъ изъ матеріальныхъ частицъ, которыя вылетаютъ изъ катода и двигаются по направленію лучей, при чемъ частицы эти обладаютъ отрицательнымъ зарядомъ. Съ этой теоріей прекрасно согласуются всѣ наблюденія, какія только можно было сдѣлать надъ катодными лучами.

Электроны.

Количественными опытами можно было установить, что во всѣхъ газахъ и при всякихъ катодахъ, изъ какого бы металла они ни были сдѣланы, частицы катодныхъ лучей тождественны. Слѣдовательно, передъ нами

тутъ частицы, не связанныя ни съ какими химическими элементами, частицы, которыя существуютъ во всевозможныхъ атомахъ и могутъ отъ этихъ атомовъ отдѣляться. Въ настоящее время удалось соотвѣтствующими измѣреніями опредѣлить отношеніе заряда подобной частицы къ ея инертной массѣ. Если допустить, что зарядъ отдѣльной частицы, которая, вѣдь, является газіономъ, равенъ элементарному, то оказывается, что инертная масса такой частицы составляетъ лишь $^1/_{1750}$ часть инертной массы атома водорода. Слѣдовательно, атомный вѣсъ частицъ катодныхъ лучей равенъ 0,00058, т.-е. неизмѣримо меньше атомнаго вѣса какого-либо химическаго элемента.

Итакъ, изученіе катодныхъ лучей натолкнуло на новое, прежде совершенно неизвѣстное вещество. Что частицы катодныхъ лучей дѣйствительно частицы матеріальныя,—это само собой понятно. Онѣ осязаемы, ибо ихъ можно собирать въ сосуды; онѣ подвижны и при этомъ проявляютъ опредѣленную, измѣримую массу. Тѣмъ самымъ, слѣдовательно, частицы эти проявляютъ всѣ характерные для матеріи признаки. Но, съ другой стороны, мы ихъ едва ли можемъ считать принадлежащими новому химическому элементу. Ибо, во-первыхъ, онѣ могутъ отщепляться отъ разнообразнѣйшихъ химическихъ элементовъ, а, во-вторыхъ, изъ нихъ однѣхъ нельзя построить цѣлаго большого тѣла. Оказывается, что гдѣ бы частицы катодныхъ лучей ни встрѣчались, онѣ обладаютъ *отрицательнымъ зарядомъ, и можно считать достовѣрнымъ, что онѣ неразрывно связаны съ отрицательнымъ зарядомъ*. Такимъ образомъ, если бы имѣлись только однѣ частицы катодныхъ лучей, то онѣ, соотвѣтственно своимъ зарядамъ, отталкивались бы другъ отъ друга съ большой силой, такъ что никакое цѣльное, связанное образованіе не могло бы возникнуть. Онѣ могутъ принимать участіе въ строеніи большихъ видимыхъ матеріальныхъ тѣлъ только какъ части атомовъ, при чемъ мы должны

принять, что въ атомахъ ихъ заряды компенсируются соотвѣтствующими положительными зарядами. Чтобы подчеркнуть универсальный характеръ частицъ, открытыхъ въ катодныхъ лучахъ, и въ то же время указать на ихъ существенную особенность, которая состоитъ въ томъ, что онѣ никогда не теряютъ своего заряда, эти частицы назвали *электронами*. Слѣдовательно, сами электроны являются не химическими атомами, но составными частями всѣхъ атомовъ.

Съ тѣхъ поръ какъ электроны были открыты въ катодныхъ лучахъ, ихъ стали наблюдать часто и въ другихъ случаяхъ, чему не слѣдуетъ удивляться при всеобщемъ распространенiи ихъ. Напримѣръ, изъ накаленнаго тѣла въ воздухѣ выбрасываются электроны. Это испусканiе электроновъ стоитъ въ связи съ iонизацiей воздуха около накаленнаго тѣла, о чемъ шла рѣчь на стр. 189. Далѣе, этимъ же испусканiемъ электроновъ обусловленъ тотъ фактъ, что при электрическомъ разрядѣ накаленный катодъ даетъ неизмѣримо больше электроновъ. Поэтому разрядъ съ накаленнымъ катодомъ, *дуговой* разрядъ, имѣетъ совсѣмъ иной характеръ, чѣмъ газовый разрядъ съ холоднымъ катодомъ, и, прежде всего, первый требуетъ значительно большей силы тока, чѣмъ второй. Другимъ примѣромъ выбрасыванiя электроновъ твердыми тѣлами является такъ называемый фотоэлектрическiй эффектъ. Если освѣтить металлъ свѣтовыми лучами, обладающими малой длиной волны, лучше всего ультрафiолетовыми, то изъ него освобождаются электроны и поступаютъ въ воздухъ.

Въ тлѣющемъ разрядѣ роль iонизирующаго агента играютъ быстро движущiеся электроны, которые проявляются въ видѣ катодныхъ лучей. Iонизирующее дѣйствiе катодныхъ лучей было впервые обнаружено *Ленардомъ*, которому удалось выпустить ихъ наружу изъ сильно эвакуированной трубки черезъ маленькую дiафрагму, закрытую тонкой алюминiевой фольгой. Съ полученными такимъ образомъ лучами можно произво-

дить опыты, которые не стоятъ ни въ какой связи съ разрядомъ внутри трубки. Тогда наблюдается, что воздухъ и другіе газы сильно поглощаютъ эти лучи, при чемъ сами они въ то же время іонизируются и излучаютъ голубоватый свѣтъ, который совершенно тождественъ съ катоднымъ сіяніемъ. Вѣроятно, іонизирующее дѣйствіе катодныхъ лучей объясняется тѣмъ, что весьма быстро движущіеся электроны, сталкиваясь съ молекулами, разбиваютъ ихъ на іоны. Въ гейслеровыхъ трубкахъ іонизирующее дѣйствіе колоссально усиливается электрическимъ полемъ у катода. Это происходитъ потому, что поле съ такой силой приводитъ въ движеніе электроны, вырванные изъ молекулъ, что они тоже, какъ «вторичные катодные лучи», іонизируютъ газъ. Поэтому наблюдается, что іонизація катодными лучами при самомъ своемъ началѣ, именно, на внутреннемъ краѣ отрицательнаго сіянія, уже очень энергична. Это видно по большой яркости голубого сіянія, которое сопровождаетъ іонизацію. Темное катодное пространство объясняется тѣмъ, что электронъ, вылетающій изъ катода, только пройдя извѣстный путь, сталкивается съ первой молекулой газа. При этомъ большая часть электроновъ, выбрасывающихся изъ катода, проходитъ до перваго столкновенія пути приблизительно одинаковой длины. Эти свободные пути электроновъ равны, такимъ образомъ, ширинѣ темнаго катоднаго пространства; послѣднее бываетъ тѣмъ больше, чѣмъ разрѣженнѣе газъ. За самымъ внѣшнимъ слоемъ катоднаго сіянія электрическое поле становится слабѣе, движеніе электроновъ теряетъ постепенно свою большую скорость; поэтому іонизирующее дѣйствіе мало-по-малу прекращается, что замѣтно по постепенному ослабленію голубого сіянія.

Каналовые лучи.

Процессъ, который происходитъ при освобожденіи электроновъ съ поверхности катода и, вѣроятно, изъ

газа, находящагося непосредственно передъ нимъ, обнаруживается въ покрывающей катодъ свѣтлой каймѣ. Если продѣлать въ катодѣ отверстія и сзади его расположить сосудъ, сообщающійся съ пространствомъ, гдѣ просходитъ разрядъ, лишь черезъ эти «каналы», то оказывается, какъ это впервые было найдено *Гольдштейномъ*, что свѣтовая кайма продолжается черезъ каналы въ видѣ длинныхъ свѣтящихся полосъ, которыя идутъ перпендикулярно къ катоду. Эти свѣтовыя полосы обозначаютъ путь другого рода лучей, которые также состоятъ изъ быстро летящихъ матеріальныхъ частицъ; ихъ называютъ *каналовыми лучами*. Каналовые лучи были очень внимательно изучены преимущественно *В. Виномъ*. Частицы, изъ которыхъ они состоятъ, являются, главнымъ образомъ, положительно заряженными, и для нихъ можно опредѣлить отношеніе заряда къ массѣ такъ же, какъ для катодныхъ лучей. При этомъ получаются числа, которыя соотвѣтствуютъ атомамъ, съ зарядомъ, равнымъ элементарному. Такъ, напримѣръ, если разрядная трубка наполнена водородомъ, то отношеніе заряда къ массѣ приблизительно равно 100 000 кулоновъ на граммъ, что довольно точно соотвѣтствуетъ отношенію эквивалентнаго заряда 96,500 къ атомному вѣсу водорода—1. Если же въ трубкѣ находится кислородъ, то отношеніе получается равнымъ $^1/_{16}$ части числа, найденнаго для водорода, соотвѣтственно атомному вѣсу кислорода 16. Въ данномъ случаѣ отношенія не могутъ быть опредѣлены такъ точно, какъ для катодныхъ лучей, вслѣдствіе характерной разницы между обоими видами лучей. Именно: въ то время, какъ частицы катодныхъ лучей всѣ безъ исключенія обладаютъ постояннымъ отрицательнымъ зарядомъ, каналовые лучи, при болѣе близкомъ изслѣдованіи, оказываются смѣсью положительно заряженныхъ и нейтральныхъ атомовъ, къ которымъ могутъ быть еще примѣшаны и отрицательно заряженные. При этомъ частицы ни въ коемъ случаѣ не сохраняютъ своего заряда неизмѣн-

нымъ, но постоянно измѣняютъ его; такимъ образомъ, положительно заряженная частица по истеченіи нѣкотораго времени становится нейтральной, затѣмъ снова заряжается положительно, а при случаѣ и отрицательно, и т. д. Изъ наблюденій, далѣе, можно заключить, что какъ и у всѣхъ іоновъ, такъ и здѣсь, зарядъ измѣняется не непрерывно, но всегда такимъ образомъ, что частица пріобрѣтаетъ или отдаетъ цѣлый элементарный зарядъ. Ея масса при перемѣнѣ заряда не испытываетъ замѣтнаго измѣненія.

Послѣ того, какъ мы познакомились съ электронами, объясненіе этихъ явленій у каналовыхъ лучей не вызоветъ затрудненій. Атомъ можетъ выбросить электронъ; если онъ прежде былъ не заряженъ, то послѣ отщепленія электрона онъ зарядится элементарнымъ количествомъ положительнаго электричества, потому что удаленіе отрицательнаго заряда равносильно появленію положительнаго. Если положительно заряженная частицца, пролетая черезъ газъ, который всегда нѣсколько іонизированъ, т.-е. содержитъ электроны, если такая частица захватитъ электронъ, то она снова станетъ нейтральной; присоединеніе слѣдующаго электрона можетъ сообщить ей отрицательный зарядъ. Значитъ, всякія измѣненія зарядовъ частицъ происходятъ прерывисто, а масса ихъ замѣтно не измѣняется, такъ какъ масса электрона исчезающе мала по сравненію съ массой атома.

Каналовые лучи возникаютъ на внутренней сторонѣ отрицательнаго сіянія, гдѣ, вслѣдствіе іонизирующаго дѣйствія катодныхъ лучей, существуетъ много іоновъ, именно: электроновъ и положительныхъ «атомныхъ остатковъ». Въ то время какъ электроны, подъ вліяніемъ электрическаго поля, отталкиваются, положительно заряженныя частицы притягиваются къ катоду, и такъ какъ опытъ показываетъ, что въ темномъ катодномъ пространствѣ электрическое поле особенно сильно, то онѣ пріобрѣтаютъ весьма замѣтную скорость. Если въ катодѣ имѣется отверстіе, то частицы могутъ проле-

тать черезъ него и образовать каналовый лучъ; въ противномъ случаѣ онѣ съ силой ударяются о катодъ. Каналовые лучи, подобно катоднымъ, іонизируютъ газъ, черезъ который они проходятъ. Кромѣ того, падая на твердое тѣло, каналовые лучи освобождаютъ изъ него множество электроновъ. Такимъ образомъ, каналовые лучи доставляютъ изъ катода и изъ газа, находящагося передъ нимъ, электроны, необходимые для катодныхъ лучей; съ другой стороны, катодные лучи внутри голубого сіянія образуютъ положительные частицы каналовыхъ лучей. Слѣдовательно, оба явленія поддерживаютъ другъ друга, какъ скоро они бываютъ вызваны извѣстнымъ предварительнымъ процессомъ, и мы получаемъ непрерывный разрядъ.

Внутреннее строеніе атома.

Уже въ одной изъ предыдущихъ главъ (стр. 120) было подчеркнуто, что подъ атомами мы ни въ коемъ случаѣ не подразумѣваемъ простѣйшихъ частицъ матеріи, которыя первоначально хотѣли обозначить этимъ словомъ. Наоборотъ, химическіе атомы, вѣроятно, имѣютъ чрезвычайно сложное строеніе. Конечно, при современномъ состояніи науки, совершенно невозможно точно описать это строеніе, тѣмъ не менѣе только-что изложенные факты даютъ намъ отвѣтъ на вопросъ, изъ какихъ элементовъ строится атомъ. Они ведутъ насъ къ слѣдующему представленію: *всякій химическій атомъ состоитъ изъ довольно большого положительно заряженнаго тѣла, съ которымъ связано множество подвижныхъ электроновъ*. Электроны мы представляемъ себѣ чрезвычайно малыми по сравненію съ атомами. Далѣе, допускаютъ, что положительно заряженная часть для нихъ проницаема, и что она находится внутри атома. Положительный зарядъ этого ядра составляетъ цѣлое кратное элементарное, и, когда атомъ нейтраленъ, то внутри его находится какъ разъ соотвѣтствующее ко-

личество электроновъ, такъ что заряды компенсируются. Путемъ отщепленія или присоединенія лишнихъ электроновъ атомъ получаетъ положительный или отрицательный зарядъ.

Насколько намъ извѣстно, мы дѣйствительно должны считать электроны за послѣднія частицы матеріи, которыя являются уже простыми и безструктурными. Но зато, повидимому, невозможно выдѣлить изъ атома только положительно заряженную элементарную частицу безъ всякихъ отрицательныхъ электроновъ. *Положительныхъ электроновъ не существуетъ.* Что всѣ тѣ положительныя частицы, которыя до сихъ поръ получались при отдѣленіи электроновъ, являются частицами сложными, слѣдуетъ изъ того, что онѣ могутъ излучать свѣтъ. Частицы каналовыхъ лучей, пролетая черезъ газъ, также испускаютъ свѣтъ, что впервые было строго доказано *I. Штаркомъ.* Этого не могло бы происходить, если бы онѣ были бы цѣльными частицами. Электроны сами по себѣ,—напримѣръ, въ катодныхъ лучахъ,—никогда не свѣтятся. Излученіе свѣта атомами и молекулами въ очень многихъ случаяхъ слѣдуетъ представлять себѣ такимъ образомъ, что электроны, находящіеся въ атомахъ, колеблются около своихъ положеній равновѣсія. Тѣмъ не менѣе особенности самаго механизма колебаній намъ еще совершенно неизвѣстны. Какъ мы видѣли на стр. 122, числа колебаній атомовъ слѣдуютъ своеобразному закону такъ называемыхъ «серій», которыя нельзя сравнить ни съ чѣмъ извѣстнымъ намъ изъ механики, и которыя, несмотря на всѣ усилія, почти не поддаются объясненію.

Металлическіе проводники.

Электрическая проводимость металловъ существенно отличается отъ проводимости электролитовъ тѣмъ, что въ чисто-металлической цѣпи на мѣстахъ соприкосновенія всякихъ двухъ различныхъ проводниковъ не про-

исходитъ никакихъ химическихъ измѣненій, никакого «электролиза». Въ цѣпи, содержащей электролиты, химическія измѣненія наблюдаются не только на поверхности соприкосновенія металла и электролита, но также и на границѣ двухъ различныхъ электролитовъ. Возьмемъ, напримѣръ, растворъ повареной соли (хлористый натрій NaCl) и растворъ мѣднаго купороса (сѣрнокислая мѣдь $CuSO_4$), раздѣлимъ ихъ стѣнкой изъ пористой глины, которая препятствуетъ диффузіи растворовъ другъ въ друга, хотя она и пропитывается ими. Пропустимъ теперь электрическій токъ, который будетъ проходить черезъ глиняную стѣнку, пропитанную растворами, въ направленіи отъ поваренной соли къ мѣдному купоросу. Тогда іоны натрія будутъ перемѣщаться въ растворъ мѣднаго купороса, а OS_4-іоны—въ растворъ поваренной соли. Такимъ образомъ, токъ вызываетъ въ растворахъ съ обѣихъ сторонъ пограничнаго слоя химическія измѣненія. То же самое должно было бы произойти, если бы мы пропустили токъ черезъ спай, напр., серебра и мѣди, если при этомъ предположить, что проводимость металловъ точно такъ же обусловлена присутствіемъ подвижныхъ электрическихъ частицъ, іоновъ, и что эти іоны въ различныхъ металлахъ не одинаковы. Для насъ совершенно непонятно, какимъ образомъ можетъ происходить переносъ электрическихъ зарядовъ иначе, чѣмъ при помощи электрически-заряженныхъ частицъ, такъ какъ электрическіе заряды могутъ существовать только въ связи съ матеріей. Но въ дѣйствительности при прохожденіи тока черезъ спай мы не наблюдаемъ ни малѣйшаго слѣда химическихъ измѣненій металловъ у этого спая. Мы принуждены, поэтому, принять, что іоны во всѣхъ металлическихъ проводникахъ тождественны. Легко видѣть, что тогда на границѣ не должно происходить никакихъ химическихъ измѣненій, такъ какъ іоны, ушедшіе съ одной стороны, замѣняются совершенно тождественными частицами, перемѣстившимися съ другой стороны. Но мы знаемъ одинъ видъ

іоновъ, которые могутъ отщепляться отъ всѣхъ веществъ—электроны; они и должны быть носителями зарядовъ при электрическихъ токахъ въ металлѣ.

Дѣйствительно, атомъ металла имѣетъ особую склонность отдѣлять электроны. Чтобы привести примѣръ, напомню, что атомы металловъ въ водныхъ электролитахъ всегда являются положительно заряженными. Эта склонность идетъ настолько далеко, что и въ чистомъ металлѣ отъ атомовъ всегда отщепляются электроны; электроны эти летаютъ взадъ и впередъ черезъ промежутки въ пористомъ, но твердомъ остовѣ, который образуютъ большіе положительно заряженные атомы металловъ, какъ молекулы газа летаютъ въ пористой перегородкѣ. Такъ же, какъ газъ можетъ диффундировать черезъ пористую перегородку, можетъ и «электронный газъ» диффундировать сквозь металлъ. Если создать въ проводникѣ электрическое поле, то всѣ электроны устремятся въ одномъ направленіи, какъ отрицательные іоны въ электролитѣ. Въ металлахъ, слѣдовательно, подвижны только аніоны, при чемъ во всѣхъ металлахъ они тождественны.

Радіоактивныя явленія.

Явленія радіоактивности были открыты впервые *А. Беккерелемъ* у урана. Особенно интенсивно обнаруживаются они у элемента, вновь открытаго г-жей *Кюри*—радія. Наиболѣе обстоятельными изслѣдованіями явленій радіоактивности мы обязаны *Э. Рёзерфорду*. Этотъ изслѣдователь установилъ, что сущность радіоактивныхъ процессовъ состоитъ въ томъ, что атомы соотвѣтствующаго элемента, выдѣляя громадныя количества энергіи, превращаются путемъ энергичнаго процесса, носящаго характеръ взрыва, въ новый элементъ, который мы можемъ назвать продуктомъ распада перваго элемента. Самый этотъ энергичный процессъ проявляется въ томъ, что элементъ выбрасываетъ маленькія заряженныя частицы, которыя, передвигаясь въ пространствѣ съ колос-

сальной скоростью, образуютъ матеріальное излученіе, въ родѣ катодныхъ и каналовыхъ лучей. Различаютъ преимущественно два рода матеріальныхъ лучей: α-лучи, которые состоятъ изъ положительно заряженныхъ частицъ, и β-лучи, которые состоятъ изъ отрицательно заряженныхъ частицъ. Отрицательно заряженныя частицы β-лучей суть не что иное, какъ электроны, о которыхъ уже много разъ шла рѣчь. Впрочемъ, ихъ скорость значительно больше скорости электроновъ, образующихъ катодные лучи; она бываетъ въ нѣкоторыхъ случаяхъ лишь немного меньше 300,000 km./sec., т.-е. скорости свѣта. Тѣмъ не менѣе, чрезвычайно замѣчательно, что сама эта скорость никогда не достигается; къ этому вопросу мы еще вернемся. Для частицъ α-лучей было опредѣлено отношеніе заряда къ массѣ при помощи методовъ, подобныхъ тѣмъ, которые примѣняются къ каналовымъ лучамъ. Оказалось, что это отношеніе при всякихъ условіяхъ и для всевозможныхъ радіоактивныхъ веществъ, которыхъ въ настоящее время извѣстно уже много, имѣетъ одну и ту же величину, а именно: оно составляетъ какъ разъ половину значенія, соотвѣтствующаго іонамъ водорода. Если бы зарядъ α-частицъ равнялся одному элементарному заряду, то онѣ имѣли бы атомный вѣсъ 2. Но элемента съ такимъ атомнымъ вѣсомъ не извѣстно, извѣстенъ же элементъ съ атомнымъ вѣсомъ 4—гелій. Гелій дѣйствительно постоянно образуется при радіоактивныхъ процессахъ, и *Рёзерфорду*, кромѣ того, удалось непосредственно показать, что α-частицы состоятъ изъ гелія. Онѣ являются, слѣдовательно, атомами гелія, изъ которыхъ каждый заряженъ двумя положительными элементарными количествами электричества. Въ виду этого гелій, повидимому, занимаетъ среди химическихъ элементовъ особое мѣсто. Но что самые атомы гелія ни въ коемъ случаѣ не являются простыми элементарными частицами, это видно по тому весьма богатому линіями спектру, который наблюдается при разрядѣ въ геліи.

Счетъ α-частицъ.

Всѣ излученія, состоящія изъ быстро летящихъ частицъ, обычно возбуждаютъ свѣченіе въ тѣхъ тѣлахъ, на которыя они падаютъ (ср. стр. 200); α-лучи вызываютъ особенно эффектное явленіе, падая на цинковую обманку. Если разсмотрѣть такую цинковую обманку, свѣтящуюся подъ дѣйствіемъ α-лучей, то свѣченіе не представится равномѣрно распространеннымъ по поверхности; видно будетъ множество отдѣльныхъ точекъ, быстро вспыхивающихъ и снова исчезающихъ. Картина напоминаетъ поверхность воды при дождѣ: каждая дождевая капелька при паденіи вызываетъ на гладкой поверхности точечную рябь, которая тотчасъ же снова исчезаетъ. Такимъ образомъ на цинковой обманкѣ непосредственно видны бомбардирующія ее α-частицы, благодаря тому, что всякая частица вызываетъ на мгновеніе свѣтящуюся точку. Количество этихъ блестокъ въ теченіе опредѣленнаго времени можно сосчитать, и тогда будетъ извѣстно, сколько α-частицъ попадаетъ въ каждую секунду на поверхность опредѣленной величины. Съ другой стороны, можно измѣрить какъ великъ положительный зарядъ, который сообщаютъ въ теченіе секунды тѣ же α-частицы поверхности такой же величины. Частное отъ дѣленія этихъ двухъ величинъ даетъ зарядъ отдѣльной α-частицы. Подобныя измѣренія были произведены *Регенеромъ* и, совершенно аналогичнымъ методомъ, *Рёзерфордомъ и Гейгеромъ*. Всѣ измѣренія дали хорошо совпадающіе результаты; зарядъ α-частицы, вычисленный на основаніи лучшихъ измѣреній, получается равнымъ $3{,}11 \cdot 10^{-19}$ кулоновъ. Такъ какъ α-частица несетъ два элементарныхъ заряда, то *для элементарнаго заряда получается значеніе: $1{,}555 \cdot 10^{-19}$ кулоновъ.* Измѣреніе произведено съ такой же точностью, какъ выше указанное измѣреніе Милликана (стр. 195). *Лошмидтово число* отсюда получается равнымъ *27,8 трилліоновъ.*

Сводка значеній, полученныхъ для Лошмидтова числа.

Въ этой книгѣ былъ указанъ цѣлый рядъ методовъ опредѣленія Лошмидтова числа, методовъ, которые въ большинствѣ случаевъ покоятся на самыхъ разнообразныхъ соображеніяхъ. Но о прекраснѣйшемъ изъ нихъ, который снова повелъ бы насъ въ совершенно иную область физики, я, къ сожалѣнію, могу только упомянуть, потому что для его пониманія потребовалось бы такое глубокое знаніе физическихъ теорій, какое можетъ быть только у спеціалиста, получившаго основательное математическое образованіе. Я имѣю въ виду опредѣленіе Лошмидтова числа на основаніи законовъ лучеиспусканія, экспериментально установленныхъ *Луммеромъ*, *Прингсгеймомъ* и многими другими изслѣдователями. Это вычисленіе произвелъ *М. Планкъ*, исходя изъ очень интересныхъ теоретическихъ соображеній. Значеніе Планка для Лошмидтова числа есть: $27{,}6 \cdot 10^{18}$. Вмѣстѣ съ тѣмъ, мы располагаемъ теперь полностью всѣмъ матеріаломъ, и въ слѣдующей таблицѣ наглядно сведены еще разъ всѣ найденныя числа.

	Лошмидтово число.	
1. Изъ тренія, теплопроводности и диффузіи газовъ . . . . Около	20	триллiоновъ.
2. Изъ распредѣленія вещества и броуновскаго молекулярнаго движенія въ тонкихъ суспензіяхъ .	31	"
3. Изъ диффузіи сахара въ водѣ	29,4	"
4. Изъ яркости небеснаго свода	24,7	"
5. Изъ опредѣленія элементарнаго электрическаго заряда при помощи осажденія тумана на іонахъ	26,5	"
6. Изъ опредѣленія элементарнаго заряда у α-частицъ	27,8	"
7. Изъ законовъ лучеиспусканія	27,6	"

Изъ этихъ чиселъ 1-ое и 4-е наименѣе достовѣрны, такъ какъ при ихъ опредѣленіи были сдѣланы, съ цѣлью упрощенія, такія допущенія, которыя, навѣрное, не со-

всѣмъ правильны, и вліяніе которыхъ на результатъ трудно оцѣнить. Относительно 4-го числа (24,7) мы опредѣленно знаемъ, что оно слишкомъ мало (ср. стр. 101). Значенія, вычисленныя по строго обоснованнымъ методамъ, оказываются превосходно совпадающими, особенно, если принять во вниманіе тѣ трудности, съ которыми здѣсь сопряжено точное измѣреніе. Второе значеніе, 31, найденное Перреномъ изъ изслѣдованія тонкихъ суспензій, нѣсколько больше остальныхъ. Причина этого отклоненія должна объясниться дальнѣйшими изслѣдованіями. Послѣднія три числа, по всей вѣроятности, подходятъ весьма близко къ истинному значенію.

Современныя воззрѣнія на сущность матеріи.

Теорія строенія атомовъ, которая была изложена выше, ведетъ, при глубокомъ размышленіи, къ совершенно новому, своеобразному представленію о сущности матеріи. Именно, оно заключаетъ въ себѣ утвержденіе, что, *вообще, не существуетъ матеріи безъ электрическаго заряда*. Мы можемъ также сказать: не существуетъ матеріи, не связанной съ эфиромъ. Матеріальныя частицы дѣйствуютъ другъ на друга только при посредствѣ вакуума, находящагося между ними, но такъ какъ дѣйствіе матеріи на вакуумъ и вакуума на матерію происходитъ только черезъ электрическіе заряды, то электрическій зарядъ является дѣйствующимъ началомъ (Wirksame), или, какъ нѣсколько поспѣшно заключаютъ въ физикѣ,—началомъ *дѣйствительнымъ* (das Wirkliche). Но, съ другой стороны, если электрическій зарядъ составляетъ сущность матеріи, то можно также сказать, что элементарныя частицы матеріи, т.-е. электроны и положительныя части пространства, которыя окружаютъ ихъ въ атомѣ, суть не что иное, какъ особыя мѣста въ эфирѣ, именно, мѣста, гдѣ сосредоточиваются линіи напряженія эфира, коротко говоря: «узлы» электрическихъ полей въ эфирѣ.

Чрезвычайно замѣчательно, что эти узлы всегда сконцентрированы въ небольшой области, именно въ тѣхъ мѣстахъ пространства, которыя заполнены элементарными частицами. По законамъ электростатики слѣдовало ожидать, что узлы имѣютъ стремленіе занять по возможности большее пространство. Слѣдовательно, присутствіе узловъ должно быть связано съ особыми силами въ эфирѣ, которыя противодѣйствуютъ стремленію къ распространенію и сдерживаютъ узлы въ ихъ тѣсныхъ предѣлахъ. Эти еще совершенно неизслѣдованныя силы эфира я назову силами *сцѣпленія;* я думаю, что съ ними тѣсно связано всеобщее взаимное притяженіе массъ, или всемірное тяготѣніе. Если по какой-либо причинѣ узловая область съ одной стороны выходитъ за свои предѣлы, то сцѣпленіе тотчасъ заставляетъ ее переместиться такимъ образомъ, чтобы объемъ элементарной частицы оставался постояннымъ. Слѣдовательно, «особая область эфира» при этомъ передвигается въ немъ. Причиной движенія частицы можетъ быть всегда только нарушеніе равновѣсія эфира въ окрестности ея. Тогда начинается перераспредѣленіе силовыхъ полей эфира, съ которымъ можетъ быть связано и перемѣщеніе узловъ, въ виду того, что равновѣсіе стремится возстановиться. Но этимъ перераспредѣленіемъ никогда не возстанавливается равновѣсіе. Даже если гдѣ-либо наступаетъ равновѣсіе, то оно нарушается въ другомъ мѣстѣ. Вслѣдствіе этого измѣненіе полей эфира и движеніе узловъ никогда не прекращаются: жизнь и движеніе не исчезаютъ во вселенной.

Мы уже видѣли выше, что электрически заряженная частица можетъ двигаться только въ томъ случаѣ, когда она сопровождается при этомъ магнитнымъ полемъ. Когда «эфирный узелъ»,—скажемъ электронъ,—приходитъ въ движеніе, то его электрическое поле искажается, такъ что нарушается равновѣсіе напряженій, а вслѣдствіе этого появляется магнитное поле. Все время, пока электронъ движется *ускоренно*, окружающее его поле, вслѣд-

ствіе искаженія, не симметрично: сзади оно сильнѣе, чѣмъ спереди. А потому на электронъ дѣйствуетъ извѣстная задерживающая сила. Эта сила есть то, что въ механикѣ называютъ *инертнымъ противодѣйствіемъ матеріальной точки ускоренію ея движенія*. Чтобы могло наступить ускореніе, въ состояніяхъ эфира должна существовать еще какая-нибудь ассимметрія, которая уравновѣшивала бы у частицы ассимметрію ея собственнаго поля, должна существовать *движущая сила*, равная и противоположная инертному противодѣйствію. Въ то время, когда не находящееся въ равновѣсіи состояніе, изъ котораго результируетъ движущая сила, стремится приблизиться къ равновѣсію, эфиръ отдаетъ энергію. Эта энергія, благодаря ассимметріи электрическаго поля частицы, которой соотвѣтствуетъ сопротивленіе инерціи превращается въ иную форму, именно въ форму магнитнаго поля, окружающаго частицу. Такимъ образомъ, сила инерціи матеріи, по этому представленію, есть не что иное, какъ реакція магнитнаго поля, возникающаго въ эфирѣ. Но эти разсужденія имѣютъ еще нѣкоторые пробѣлы, ибо вѣроятно и тѣ неизвѣстные процессы, которые при помощи сцѣпленія сдерживаютъ узлы, принимаютъ участіе въ явленіи. Тогда къ магнитному полю прибавилась бы еще реакція, соотвѣтствующая этимъ процессамъ. Но сущность теоретическаго воззрѣнія, именно представленіе, что мѣсто дѣйствія инертнаго сопротивленія есть эфиръ, окружающій элементарную частицу, остается неизмѣннымъ.

Но и тогда, когда электронъ движется съ постоянной скоростью, его электрическое поле не находится въ полномъ равновѣсіи. Въ самомъ дѣлѣ, его напряженія тогда должны располагаться такъ, чтобы магнитное поле, сопровождающее электронъ, двигалось впередъ; они должны, слѣдовательно, возбуждать магнитное поле спереди и разрушать его сзади. Электрическое поле, вслѣдствіе этого, нѣсколько искажается, но однако такимъ образомъ, что остается симметричнымъ; никакихъ силъ реакціи

не возникаетъ, и электронъ не измѣняетъ своего движенія. Тотъ фактъ, что существуетъ извѣстное искаженіе поля, которое, конечно, тѣмъ значительнѣе, чѣмъ больше скорость,—этотъ фактъ ведетъ къ чрезвычайно странному слѣдствію. Именно, такъ какъ магнитное поле, съ своей стороны, должно содѣйствовать переносу электрическаго, то оно должно постоянно приспособляться къ искаженному электрическому полю; слѣдовательно, оно измѣняется при возрастаніи скорости не просто пропорціонально ей; первоначальное распредѣленіе силовыхъ линій измѣняется все больше и больше. Слѣдовательно, инертныя реакціи магнитнаго поля для опредѣленнаго прироста скорости въ томъ случаѣ, когда элементарная частица уже находится въ быстромъ движеніи и въ томъ случаѣ, когда она только что начинаетъ двигаться—различны. *Инертная масса элементарной частицы матеріи измѣняется вмѣстѣ со скоростью.*

Это слѣдствіе изъ новаго представленія о сущности матеріи коренными образомъ противорѣчитъ старымъ механическимъ принципамъ, въ силу которыхъ инертная масса считалась абсолютно постоянной. Но оно подвергалось неоднократно опытной провѣркѣ. Теоретическое изслѣдованіе показываетъ, что инертная масса, вслѣдствіе искаженія поля, все возрастаетъ и возрастаетъ, и, наконецъ, обращается въ безконечность, когда скорость приближается къ скорости свѣта (300,000 km./sec.). Вслѣдствіе этого матерія никогда не можетъ обладать скоростью 300,000 km./sec. И въ самомъ дѣлѣ, скорость β-лучей, какъ бы она ни была велика, все-таки остается меньше скорости свѣта (стр. 210). *В. Кауфманъ* впервые примѣнилъ къ быстрымъ частицамъ β-лучей методы измѣренія, испробованныя на катодныхъ лучахъ. Тщательными измѣреніями онъ установилъ, что, дѣйствительно, съ увеличеніемъ скорости, инертная масса электрона закономѣрно возрастаетъ. При наивысшихъ скоростяхъ, которыя встрѣчались въ β-лучахъ, и которыя

лишь на нѣсколько процентовъ были меньше скорости свѣта, масса электроновъ была уже приблизительно въ три раза больше, чѣмъ въ катодныхъ лучахъ, гдѣ скорость электроновъ можно считать безконечно-малой по сравненію со скоростью свѣта. Измѣренія Кауфмана были позднѣе подтверждены другими экспериментаторами, работавшими съ иными методами. Тѣ незначительныя отклоненія, которыя при этомъ получались, должны быть объяснены дальнѣйшими опытами. Въ предѣлахъ этихъ уклоненій измѣренія совпадаютъ съ тѣмъ результатомъ, который даетъ чисто теоретическій подсчетъ магнитныхъ силъ реакціи.

Вслѣдствіе этого, изъ опытовъ Кауфмана, дѣлалось заключеніе, что масса электрона должна быть объяснена полностью реакціей магнитнаго поля. Однако это заключеніе преждевременно. Ибо намъ совершенно неизвѣстно, какимъ образомъ измѣняются инертныя дѣйствія, которыя связаны съ «силами сцѣпленія» въ эфирѣ, при очень сильномъ возрастаніи скорости. Имѣются очень вѣскія основанія для допущенія, что эти инертныя дѣйствія измѣняются по совершенно тѣмъ же законамъ, какъ и инертныя дѣйствія магнитнаго поля, такъ что было бы невозможно экспериментально различить другъ отъ друга обѣ слагающія массы.

Слѣдуетъ подчеркнуть, что эксперименты до сихъ поръ были ограничены быстро движущимися *электронами*. Еще не найдены химическіе атомы съ такими большими скоростями, чтобы у нихъ можно было ожидать замѣтнаго измѣненія инертной массы. Слѣдовательно, не существуетъ еще общаго доказательства правильности тѣхъ слѣдствій относительно инертной массы, которыя выведены изъ новаго воззрѣнія. Впрочемъ, обстоятельства, говорящія въ пользу новаго представленія, настолько многочисленны и вѣски, что оно, безусловно, должно быть положено въ основу дальнѣйшихъ научныхъ изысканій. Можно питать большую надежду, что физикѣ такимъ путемъ удастся сконструировать картину міра по-

разительно прекрасной простоты и ясности. Все разнообразіе чувственнаго міра, на первый взглядъ представляющееся такимъ пестрымъ и запутаннымъ, повидимому, будетъ сведено къ процессамъ въ повсюду однородной міровой субстанціи, въ эфирѣ,—къ процессамъ, которые, несмотря на свою колоссальную сложность, объединены стройной системой немногихъ, простыхъ, математически-ясныхъ законовъ.

ОГЛАВЛЕНІЕ.

Издательство „ПРИРОДА“ Москва.

Проф. Е. Лехеръ.

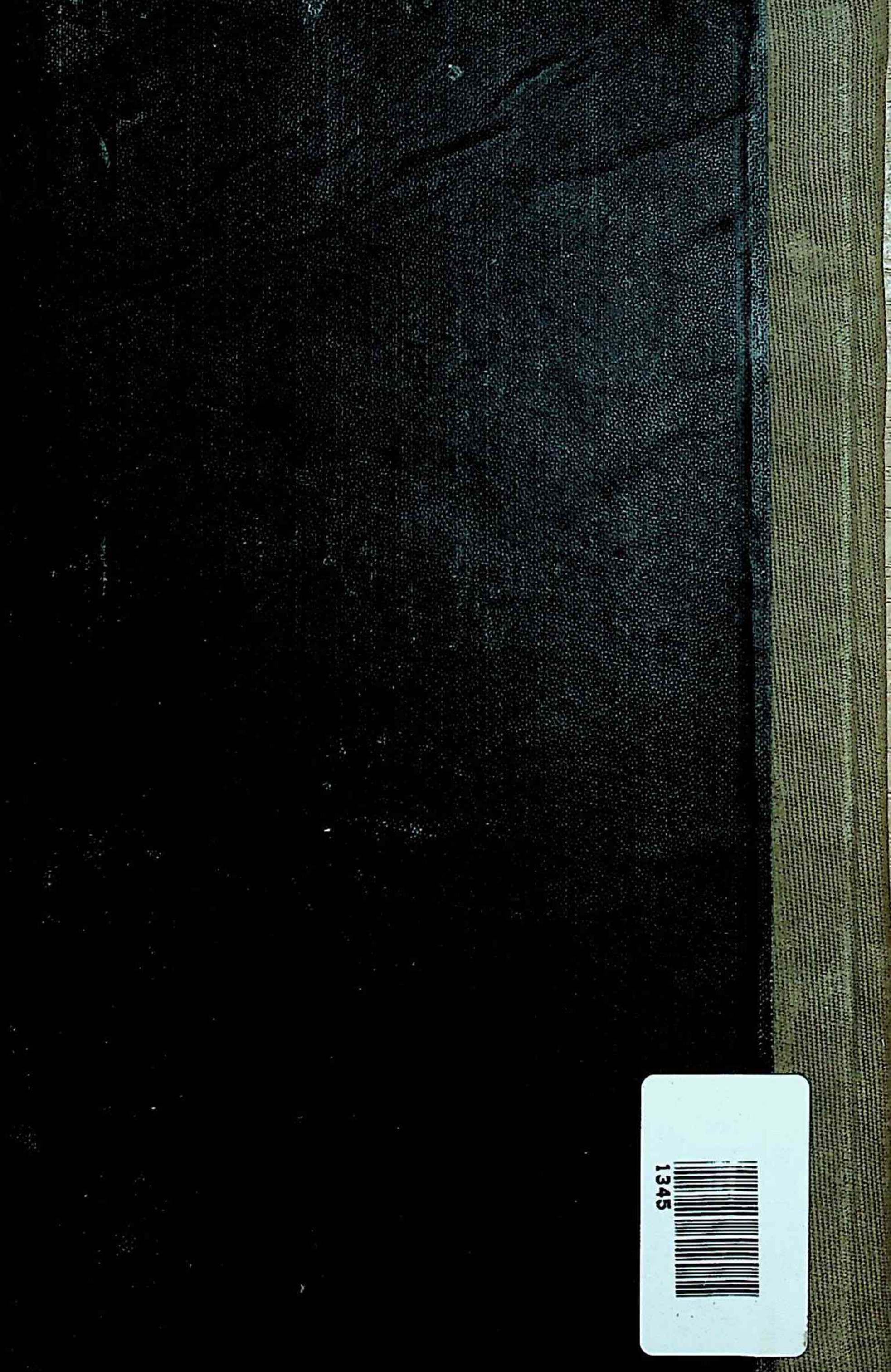
ФИЗИЧЕСКІЯ КАРТИНЫ МІРА.

Съ 28 рисунками.

ПЕРЕВОДЪ
О. Писаржевской.
ПОДЪ РЕДАКЦІЕЙ
Проф. Л. В. Писаржевскаго.

Цѣна 50 коп.

СОДЕРЖАНІЕ:


1345